

**PROPUESTA PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA**

**VICTOR HUGO RESTREPO REYES
HANNIER HURTADO MORENO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2013**

**PROPUESTA PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE PALMIRA**

**VICTOR HUGO RESTREPO REYES
HANNIER HURTADO MORENO**

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial

**DIRECTOR
JULIO CÉSAR LONDOÑO O.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PALMIRA
2013**

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO 1

JURADO 2

Palmira, noviembre 2013

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi Madre Neylan Reyes por la motivación que representa para mí, y por haber sido quien me brindó su apoyo incondicional durante todo mi trayecto universitario y en general en toda mi vida, a mi abuelo Cesar Reyes por que más que un abuelo es como un padre para mí, a mi pareja Kelly Bedoya quien me impulso en mis últimos semestres para sacar este proyecto adelante y en general a todos mis compañeros y amigos.

Victor Hugo Restrepo Reyes

Este trabajo lo dedico primeramente a mi compañero de tesis y trabajos Victor Hugo Restrepo Reyes, por lo que este trabajo representa, el fruto de años de esfuerzo, dedicación, sudor y trasnochos, y porque más importante sin él todo este proyecto no habría sido un éxito. También le dedico infinitamente a mi Madre Marlene Moreno por el apoyo que me ha dado, por las fuerzas que me ha brindado y todo el esfuerzo que hizo por el bienestar mío y de mi familia. Y les dedico este trabajo a aquellas personas que no dejaron de creer en mí, aun cuando la adversidad turbia mi camino, cuando la presión y los problemas me hacían desfallecer o incluso yo mismo dejaba de creer en mí, esas personas de alguna u otra forma me reconfortaban y me daban esperanza, aliento y vida para seguir.

Hannier Ebeiro Hurtado Moreno

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es el resultado de un esfuerzo grupal, por ello quiero agradecer a nuestro director de trabajo de grado Ingeniero Julio Cesar Londoño O. y a mi compañero Hanier Hurtado Moreno, pues a lo largo del progreso de este trabajo de grado han puesto a prueba todos sus conocimientos y capacidades en el desarrollo de esta propuesta, la cual finalizada llena nuestras expectativas. A mi madre por ser un apoyo incondicional y haberme motivado durante toda mi formación profesional, por siempre haber creído en mis capacidades como estudiante y como persona. A mis profesores a quienes les debo gran parte de mi conocimiento y formación, especialmente al profesor Jaime Alberto Florez Piamba del cual admiro su metodología para transmitir el conocimiento y por haber sido quien colaboró en gran parte a fortalecer mi pasión hacia la parte matemática. A mi pareja Kelly Bedoya por su preocupación en el avance de este proyecto, a mis amigos y finalmente a la gran universidad a la pertenezco Universidad del Valle sede Palmira “La mejor para los mejores”.

Victor Hugo Restrepo

Victor Hugo Restrepo Reyes compañero de tesis y trabajos, camarada de luchas y trasnochos, vecino de casas y salidas, amigo de festejos y deportes, a ti te agradezco por todo lo que has hecho, de una u otra forma tú fuiste como un ejemplo, una guía, una inspiración, y me alegro enormemente de haberte conocido. No tengo más que estas simples palabras para agradecerle de manera incomparable a mi Madre Marlene Moreno pues sin su apoyo, comprensión, esfuerzo, compañía y grata sonrisa no habría llegado tan lejos como estoy ahora. Le agradezco también al Ingeniero Julio Cesar Londoño pues sin su acompañamiento, consejos y asesoría este proyecto no habría dado los frutos que hoy tiene. En general le agradezco a todas aquellas personas que conozco y me conocen, sean de la universidad, el colegio, el barrio, la ciudad, el departamento, el país y el mundo, pues ellas de alguna manera se impregnaron en mí, me han fortalecido y me hicieron avanzar en mi vida, especialmente le agradezco a Lizeth, Joana, Angela y Daniela.

Hannier Ebeiro Hurtado Moreno

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	17
3. OBJETIVOS.....	19
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	20
5. MARCO TEÓRICO	25
5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	25
5.2. SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	26
5.3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO	29
5.4. PARTES DE UN MODELO MATEMÁTICO	30
5.4.1. Función objetivo	30
5.4.2. Variables de decisión	30
5.4.3. Restricciones.....	31
5.4.4. Parámetros.....	32
5.5. OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO.....	32
5.5.1. Terminología de Pareto.....	32
5.5.2. Método de ordenamiento lexicográfico para la solución de <i>MOPs</i>	34
5.5.3. Otros métodos de solución de <i>MOPs</i>	35
5.6. MÉTODO MULTICRITERIO <i>TOPSIS</i>	35
6. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	40
6.1. MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA MINIMIZAR EL NÚMERO DE BOTES DE BASURA Y LA DISTANCIA RECORRIDA HASTA ELLOS.....	41
6.1.1. Modelo en forma verbal.....	43
6.1.1.1. Función objetivo.....	43
6.1.1.2. Restricciones	43

6.1.2.	Modelo en forma matemática.....	46
6.1.2.1.	Conjuntos del modelo de localización de botes y minimización de distancias para todos los niveles del edificio.....	46
6.1.2.2.	Elementos de los conjuntos.....	46
6.1.2.3.	Variables de decisión del modelo de localización de botes y minimización de distancias para todos los niveles del edificio.....	47
6.1.2.4.	Parámetros del modelo de localización de botes y minimización de distancias para todos los niveles del edificio.....	47
6.1.2.5.	Función objetivo.....	48
6.1.2.6.	Restricciones.....	48
6.2.	UBICACIÓN CENTROS DE ACOPIO.....	49
6.2.1.	Determinación de criterios.....	50
6.2.2.	Alternativas o sitios candidatos.....	51
6.2.3.	Ponderación de criterios.....	52
6.2.3.1.	Matriz de comparación de criterios.....	53
6.2.3.2.	Vector resultado de criterios y su peso.....	54
6.2.4.	Matriz resultado de comparación de criterios y alternativas.....	55
6.2.5.	Matriz de decisión normalizada.....	56
6.2.6.	Matriz de decisión normalizada y ponderada.....	56
6.2.7.	Cálculo de la solución ideal positiva y negativa.....	57
6.2.8.	Cálculo de la proximidad relativa de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa.....	57
6.2.9.	Ordenación de acuerdo con su proximidad relativa (Ranking).....	58
6.3.	RUTA Y CONDICIONES DE TRANSPORTE DE LOS RS.....	58
7.	RESULTADOS.....	62
7.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	62
7.2.	SOLUCIÓN Y RESULTADOS DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA MINIMIZAR EL NÚMERO DE BOTES DE BASURA Y LA DISTANCIA RECORRIDA.....	62
7.2.1.	Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el primer nivel.....	64

7.2.2. Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el segundo nivel.....	68
7.2.3. Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el tercer nivel	72
7.2.4. Botes de disposición intermedia en áreas especiales	76
7.2.4.1. Fotocopiadora.....	76
7.2.4.2. Oficinas.....	76
7.2.4.3. Cocineta	76
7.2.4.4. Cafeterías	76
7.3. UBICACIÓN CENTROS DE ACOPIO.....	77
7.4. RUTA Y CONDICIONES DE TRANSPORTE DE LOS RS.....	78
7.4.1. Primer piso	78
7.4.2. Segundo piso	78
7.4.3. Primer piso	79
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
9. BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS.....	85
Anexo 1.....	85
Anexo 2.....	86
Anexo 3.....	88
Anexo 4.....	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Ilustración 1. Pasos para la construcción de modelos matemáticos	29
Ilustración 2. Relación entre Costo y Eficacia	33
Ilustración 3. Gráfico comparativo entre Ideal y Anti-Ideal.....	36
Ilustración 4. Algoritmo del método TOPSIS.....	36

Ilustración 5. Pasillo de referencia para la encuesta.....	45
Ilustración 6. Plano superior de la UVSP con sitios candidatos marcados.	52
Ilustración 7. Carro de recolección tipo “Limusine” con 3 contenedores.....	60
Ilustración 8. Frontera de Pareto para el modelo del primer nivel.....	64
Ilustración 9. Ubicación de los tarros de basura en el primer piso para la opción de seis botes.....	65
Ilustración 10. Ubicación de los tarros de basura en el primer piso para la opción de siete botes.....	66
Ilustración 11. Ubicación de los tarros de basura en el primer piso para la opción de ocho botes	67
Ilustración 12. Frontera de Pareto para el modelo del segundo nivel	68
Ilustración 13. Ubicación de la solución de seis botes para el modelo del segundo nivel	69
Ilustración 14. Ubicación de la solución de siete botes para el modelo del segundo nivel	70
Ilustración 15. Ubicación de la solución de ocho botes para el modelo del segundo nivel	71
Ilustración 16. Frontera de Pareto para el modelo del tercer nivel.....	72
Ilustración 17. Ubicación de la solución de siete botes para el modelo del tercer nivel	73
Ilustración 18. Ubicación de la solución de ocho botes para el modelo del tercer nivel	74
Ilustración 19. Ubicación de la solución de nueve botes para el modelo del tercer nivel	75
Ilustración 20. Ubicación de mejores opciones en el plano	77
Ilustración 21. Ruta para el tercer piso de la Universidad	78
Ilustración 22. Ruta para el segundo piso de la Universidad	79
Ilustración 23. Ruta para el tercer piso de la Universidad	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población estudiantil en la UVSP (2007 – 2012)	14
Tabla 2. Clasificación general de los residuos domiciliarios	25
Tabla 3. Clasificación de Canecas según su color.....	27
Tabla 4. Matriz de decisión del método <i>TOPSIS</i>	37
Tabla 5. Escala de Saaty	53
Tabla 6. Matriz de comparación de criterios para residuos aprovechables	53
Tabla 7. Matriz de comparación de criterios para residuos no aprovechables	54
Tabla 8. Vector resultado de criterios para residuos aprovechables.....	54
Tabla 9. Vector resultado de criterios para residuos aprovechables.....	55
Tabla 10. Matriz comparación de criterios y alternativas para residuos aprovechables.....	55
Tabla 11. Matriz comparación de criterios y alternativas para residuos no aprovechables.....	55
Tabla 12. Matriz de decisión normalizada para residuos aprovechables	56
Tabla 13. Matriz de decisión normalizada para residuos no aprovechables	56
Tabla 14. Matriz de decisión ponderada para residuos aprovechables	56
Tabla 15. Matriz de decisión ponderada para residuos no aprovechables	57
Tabla 16. Solución ideal positiva y negativa para residuos aprovechables	57
Tabla 17. Solución ideal positiva y negativa para residuos no aprovechables	57
Tabla 18. Proximidad relativa para residuos aprovechables.....	57
Tabla 19. Proximidad relativa para residuos no aprovechables.....	58
Tabla 20. Ranking para residuos aprovechables	58
Tabla 21. Ranking para residuos no aprovechables	58
Tabla 22. Destinos de disposición de residuos para el modelo del primer nivel con seis botes.....	65
Tabla 23. Destinos de disposición de residuos para el modelo del primer nivel con siete botes	66

Tabla 24. Destinos de disposición de residuos para el modelo del primer nivel con ocho botes	67
Tabla 25. Destinos de disposición de residuos para el modelo del segundo nivel con seis botes	69
Tabla 26. Destinos de disposición de residuos para el modelo del segundo nivel con siete botes.....	70
Tabla 27. Destinos de disposición de residuos para el modelo del segundo nivel con ocho botes.....	71
Tabla 28. Destinos de disposición de residuos para el modelo del tercer nivel con siete botes	73
Tabla 29. Destinos de disposición de residuos para el modelo del tercer nivel con ocho botes	74
Tabla 30. Destinos de disposición de residuos para el modelo del tercer nivel con nueve botes	75
Tabla 31. Ranking de las opciones del método <i>TOPSIS</i>	77
Tabla 32. Tabla de distancias asociadas para el primer piso de la <i>UVPS</i>	85
Tabla 33. Tabla de distancias asociadas para el segundo piso de la <i>UVPS</i>	85
Tabla 34. Tabla de distancias asociadas para el tercer piso de la <i>UVPS</i>	86
Tabla 35. Muestra piloto para la encuesta de estética.....	86
Tabla 36. Resultado de las encuestas de estética.....	87
Tabla 37. Tabla de frecuencia de los resultados de las encuestas.....	87
Tabla 38. Medición de criterios de distancia en el <i>TOPSIS</i>	88
Tabla 39. Mediciones del criterio de adecuaciones necesarias para el <i>TOPSIS</i> ...	88
Tabla 40. Zonas en las que se divide la <i>UVSP</i>	89
Tabla 41. Caracterización de <i>RS</i> en kilogramos para el primer piso de la <i>UVSP</i> ..	90
Tabla 42. Caracterización de <i>RS</i> en kilogramos para el segundo piso de la <i>UVSP</i>	91
Tabla 43. Caracterización de <i>RS</i> en kilogramos para el tercer piso de la <i>UVSP</i> sin incluir la biblioteca.....	92
Tabla 44. Caracterización de <i>RS</i> en kilogramos de la biblioteca de la <i>UVSP</i>	93
Tabla 45. Caracterización de <i>RS</i> en kilogramos en las cafeterías de la <i>UVSP</i>	93

INTRODUCCIÓN

Desde hace ya varias décadas se han hecho evidentes las problemáticas generadas por un mal de manejo de las basuras o residuos sólidos producidos por las diferentes actividades humanas, y que además tienen influencia en otros aspectos de la sociedad como el económico, el social y el cultural. Un punto de referencia para un mejor manejo de los residuos sólidos son las instituciones públicas, y en mayor relevancia las de educación pues son el motor, los forjadores y el principal ejemplo para la sociedad en general, es por ello que la gestión de residuos en dichos espacios es vital para un buen impacto en la comunidad.

La preocupación de la sociedad por conservar el medio ambiente y mejorar las condiciones de vida y bienestar para la sociedad son algunas de las motivaciones para el desarrollo del proyecto. El uso y aplicación de herramientas y conocimientos de Ingeniería Industrial como los sistemas de gestión ambiental, la formulación de modelos matemáticos o los métodos para la toma de decisiones, proveerán soluciones más efectivas a la problemática en cuestión. En la Universidad del Valle sede Palmira **UVSP** existen varias falencias que dificultan una apropiada gestión integral de los desechos generados, notables en aspectos como la ubicación de los botes de residuos, recolección y transporte de los residuos, y el método y los puntos de almacenamiento de esos residuos, lo que no permite el posible aprovechamiento de los residuos potenciales.

Es, por lo tanto, trascendental realizar una propuesta para el diseño de la recolección y disposición temporal de los residuos sólidos en la UVSP, con la que se busca designar y reubicar los botes de residuos mediante el uso de la optimización bi-objetivo, los contenedores o centros de acopio en las instalaciones de la institución con la aplicación de técnicas de decisión multi-criterio, y la forma de recolectar y transportar los residuos desde los botes hasta los diferentes contenedores.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un aumento trascendental de la población mundial y el incremento considerable del proceso productivo del hombre, el cual se manifiesta como productor y consumidor, y no descomponedor o reciclador, se ha traducido en una excesiva generación de Residuos Sólidos **RS**. Dichos RS provenientes de las actividades humanas exceden la capacidad de absorción del medio natural, en contradicción con lo que ocurre en la Naturaleza, lo que modifica el delicado equilibrio ecológico y empiezan a acumularse desechos, en cantidad, variedad y toxicidad crecientes, que al no poder ser reincorporados a los ciclos naturales son devueltos al medio ambiente deteriorándolo y contaminándolo (Román G., 2009).

Los sistemas de recolección de RS urbanos, en la mayoría de los países en desarrollo, consumen entre 30 a 60% de las rentas municipales disponibles. En varios casos, si estos residuos son tratados de forma integral y adecuada se pueden obtener buenos resultados e impactos beneficiosos en varios aspectos de la sociedad. Pero un manejo integral de los RS implica no solamente tratarlos, reciclarlos y disponerlos adecuadamente, implica la participación de todos y abarca desde la responsabilidad y el compromiso por la reducción de residuos, implementar tecnologías limpias, procesos eco-eficientes, que se basan en la sostenibilidad del desarrollo de la sociedad con el medio ambiente (Fernández C., 2005).

El manejo integral de los RS en áreas urbanas, algunos sectores de la sociedad, comunidades, localidades, empresas e instituciones, ya sean públicas o privadas, además de la concienciación a la población sobre la problemática ambiental, la construcción de plantas de procesamiento y/o recuperación de RS, o el desarrollo de procesos de compostaje de los residuos orgánicos, contribuirían a la reducción de los costos involucrados en la recolección y disposición de residuos hasta en un 50% y generar ganancias por más de \$5'000.000 [Pesos Colombianos] en un

periodo de 2 años, entre el 2001 y el 2003, gracias a los subproductos elaborados y dependiendo de los valores de estos en el mercado (Castrillón et al., 2004).

Es en este contexto que la UVSP, con la iniciativa de las carreras de Ingeniería Industrial y de Tecnología Agroambiental, plantea la idea para el manejo integral de RS al interior de la institución, con el propósito de reducir el impacto que generan los residuos a la comunidad universitaria y al municipio de Palmira, generar beneficios gracias a la capacidad de aprovechamiento de los residuos, e impulsar la implementación y el desarrollo de prácticas de gestión integral de residuos en otras áreas, organizaciones e instituciones del municipio de Palmira.

La UVSP se encuentra localizada en el barrio Zamorano, ubicado al norte de la zona urbana del municipio de Palmira, al sur del Valle del Cauca. En promedio, cuenta con una población de 1884 estudiantes y 174 personas entre docentes, personal de oficios varios, administrativo, de fotocopias y de cafeterías, población que ha tenido pocas fluctuaciones en el tiempo y mantiene su tendencia (Anuario Estadístico – Universidad del Valle, 2012).

Tabla 1. Población estudiantil en la UVSP (2007 – 2012)

Semestre	AÑO												PROMEDIO POR SEMESTRE
	2007		2008		2009		2010		2011		2012		
	I	II											
Ciencias de la Administración	933	953	970	898	820	850	1112	966	934	674	805	774	1884
Ingeniería	618	629	621	651	637	547	668	497	617	284	593	477	
Educación y pedagogía	87	105	97	139	137	130	175	160	194	161	206	172	
Psicología	210	243	221	252	219	207	361	315	280	258	236	222	
TOTAL ESTUDIANTES	1848	1930	1909	1940	1813	1734	2316	1938	2025	1377	1840	1645	

Fuente: Anuario Estadístico 2012 – Universidad del Valle

Dicha población genera en conjunto alrededor de 0.6 Toneladas de RS a la semana, en los que se pueden caracterizar Residuos Orgánicos como comida,

residuos de jardín, huesos y papel, y Residuos Inorgánicos de tipo plásticos, metálicos, vidrios, cerámicos, higiénicos y otros (Caracterización de residuos en la UVSP, 2013, ver Anexo 4).

Actualmente en la Institución no se tiene especificado una técnica y/o metodología que busque la mejor forma de recolección y disposición de las basuras, y esto se debe a varios factores como el manejo que se le da a todos los botes de basura que no es el correcto dado que son multipropósito, argumentado en el hecho de que en ellos se depositan todo tipo de residuos de la Institución y luego su contenido lo disponen en un contenedor mayor con capacidad de 250 Kg de Residuos ó 1600 Litros, en el que se almacena hasta que sea recogida por la empresa de aseo del municipio Palmaseo S.A. E.S.P. Además la recolección y transporte de los RS al interior de las instalaciones es realizada de la forma que mejor les parezca, llevándola en bolsas del mismo color, y sin precauciones en el tránsito de estas.

Si la Institución mejorase su plan para el manejo y tratamiento de sus RS en el que se ubique y señalice de forma adecuada los botes de basura, se establezcan rutas y condiciones de recolección y transporte, y zonas y/o contenedores para la disposición temporal de estos residuos; se incentivaría a la comunidad de la institución a cooperar, en cierta medida, en el cuidado del medio ambiente. Además se contribuye a la tendencia mundial de separación de RS y posterior aprovechamiento de estos, en el aspecto de la separación en la fuente que busca mayor eficiencia en la operación de actividades de aprovechamiento, principalmente la de mayor utilización en el país, el compostaje (Marmolejo et al., 2010).

Los principales involucrados en dicha situación son la comunidad académico-universitaria en particular el personal administrativo, el personal de oficios varios, el estamento estudiantil y el estamento profesoral, dado que son los generadores de RS y los que directamente reciben los impactos y adversidades de dichos

residuos; además el personal de oficios varios es el encargado actual del control y manejo de los RS dentro de las instalaciones de la UVSP; el personal de Palmaseo S.A. E.S.P. y la misma empresa que son los encargados a nivel municipal de recoger los RS de las instalaciones de la UVSP; las comunidades aledañas de Zamorano, Urbanización Los Mangos, Urbanización Los Caimitos y Coronado, las cuales perciben posibles efectos contraproducentes de los RS de la UVSP.

Los elementos problemáticos, necesidades no resueltas y situaciones conflictivas en los cuales se va a enfocar la propuesta a plantear son el manejo y la separación de los RS en las diferentes categorías reconocibles (Orgánicos, Reciclables, No Reciclables, Peligrosos, Especiales); la disminución sustancial de los volúmenes de basuras y en consecuencia la reducción del impacto que generan tanto ambiental como sociocultural en la Población; la mejora de la disposición de dichos RS; y el manejo que se les puede dar a dichos RS reciclables para que sirvan como materia prima para procesos posteriores como por ejemplo realizar carpetas u otros objetos con plástico o compostas para generar abono orgánico, pero estas opciones serán evaluadas por las directivas de la institución y demás entes involucrados para determinar cuáles son las que mejores beneficios traen tanto económica como ambientalmente.

2. JUSTIFICACIÓN

Colombia cuenta con un amplio desarrollo normativo enmarcado en la ley de promoción y prevención de medidas sanitarias para la mejora de la salud pública y el bienestar de la población, ley 9 de 1979, y la política nacional para la gestión de RS emitida en 1998, actualizada en el consejo nacional de política económica y social CONPES, soportada por la constitución nacional, la ley 99 de 1993 y la ley 142 de 1994, que establece tres objetivos específicos que determinan las prioridades de la gestión en residuos los cuales son: Minimizar la cantidad de residuos que se generan. Aumentar el aprovechamiento racional de los RS. Mejorar los sistemas de eliminación, tratamiento y disposición final de los RS.

La problemática de la recolección y disposición interna de los RS generados en la UVSP es un tema relevante que no ha sido abordado desde un punto de vista investigativo.

Actualmente las personas al momento de elegir la ubicación de un bote de disposición intermedia de RS, lo hace de una manera empírica o sólo porque cree que en un lugar determinado se vería bien un bote de basura ya que hay un espacio vacío y no sólo se podría ubicar un bote de basura multipropósito sino que pueden ser 3, 4 ó más dependiendo de los tipos de residuos que se generen en dicho lugar.

En ese sentido, la complejidad que presenta esta problemática requiere un proyecto estructurado y con fundamento que solucione la situación y que llene las expectativas de la comunidad en general.

Dichas condiciones las satisface la aplicación de herramientas de la Ingeniería Industrial como lo es la investigación operativa más específicamente la

optimización bi-objetivo que permitirá plantear una solución para la ubicación de los botes de basura minimizando el número de estos y al mismo tiempo minimizando la distancia recorrida por las personas hasta encontrar un bote de basura que satisfaga su necesidad, y técnicas de decisión multi-criterio la cual será un mecanismo para encontrar la ubicación de los contenedores o centros de acopio.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

- ✓ Diseñar una propuesta para la recolección y disposición temporal de los RS en la Universidad del Valle Sede Palmira.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar la localización para los botes de basura y los contenedores de disposición temporal en la institución según su caracterización.
- ✓ Estructurar la ruta y condiciones para el transporte de los RS dentro de las instalaciones de la institución teniendo en cuenta las guías técnicas.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La revisión bibliográfica hace un recuento de las investigaciones, estudios y planteamientos que sirvieron de plataforma y contexto para el desarrollo de este trabajo. En esta sección se encuentran estudios sobre gestión ambiental, modelación multi-objetivo y modelación de decisiones multi-criterio.

Castrillón y Puerta (2004) muestran un estudio que evidencia el impacto del Manejo Integral de los Residuos Sólidos **MIRS** en la Corporación Universitaria Lasallista, y se puede observar que la problemática ambiental generada por el incremento de los RS se debe, en parte, a la falta de educación y responsabilidad ambiental para separarlos en la fuente y poder aprovecharlos nuevamente como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El MIRS contribuye al ahorro sostenible de los recursos naturales. Se implementó el programa MIRS y posteriormente se evaluaron las experiencias educativas y ciertos beneficios económicos como el ahorro en la tasa de aseo, la producción de abono y venta de material reciclable. La implementación del MIRS ha sido una excelente experiencia debido a la campaña de educación ambiental en que ha participado toda la comunidad académica.

En el mismo sentido, Londoño (2007) en su publicación “Implementación del plan de manejo integral de RS en COSERVICIOS S.A” evidencia las ventajas del Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos **PMIRS**, ya que en su artículo muestra una empresa preocupada por mejorar su desempeño ambiental y que propicia el espacio para un detallado diagnóstico ambiental de todos sus procesos, herramienta que fue crucial para la implementación de su PMIRS. Se realizó dicho diagnóstico ambiental que sirvió de base para desarrollar todas las actividades necesarias que permitieran mitigar los impactos ambientales identificados, enfocándose en inicialmente en los Residuos Sólidos peligrosos y no peligrosos.

Como resultado de la formulación e implementación del PMIRS se generó, en todos los niveles de la empresa, una transformación en las actitudes frente a los residuos y una serie de cambios que condujeron a un mejor aprovechamiento de residuos y una organización en los procesos de producción y de igual modo cambio la cultura ambiental de la empresa e incentivó una serie de transformaciones de esta en el aspecto ambiental y de producción más limpia.

En relación a lo anterior, Marmolejo, Torres y Oviedo (2009) manifiestan en el desarrollo de su trabajo “Flujo de residuos: elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos municipales” datos interesantes sobre el flujo de residuos, y presentan como este permitió establecer interrelaciones entre las características y cantidades de los residuos con las fuentes de generación y las formas de aprovechamiento. Mediante su aplicación en un municipio con una Planta de Manejo de Residuos Sólidos **PMRS** se determinó que las fuentes de generación de Residuos Sólidos Municipales **RSM** son predios residenciales (65.87%), comerciales (31.46%) e Institucionales (2.67%), siendo los residuos putrescibles la categoría de mayor producción; dado que estos residuos no son acondicionados para su transformación, el 70% termina su ciclo en la disposición final. Los materiales reciclables son generados principalmente en predios residenciales, pero los de origen comercial e institucional son de mejor calidad. El 43.6% de los reciclables los toman los recuperadores en el punto de generación, lo que hace necesario implementar conjuntamente estrategias de trabajo como la separación en la fuente, para la proyección del funcionamiento de las PMRS.

Complementando los artículos anteriores, se tiene a Marmolejo, Oviedo y Torres (2010) quienes realizan otra publicación llamada “Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales”, en la cual se expone los resultados de un estudio que evalúa la influencia de procesos de separación en la fuente sobre el proceso de compostaje. Para ello se realizó un montaje a escala de laboratorio utilizando muestras de RSM separados y no separados en la

fuentes, generados en el municipio de La Victoria (Valle del Cauca), población cuya PMRS incluye el compostaje de la fracción putrescible. La evaluación incluyó: la calidad de las materias primas, el comportamiento de la temperatura y el pH durante el proceso, y la calidad microbiológica de los productos. Los resultados indican que los residuos separados en la fuente presentan mayor facilidad de degradación, requieren menor tiempo para alcanzar la temperatura ambiente, y además permiten obtener un producto final de mejor calidad microbiológica.

Respecto a la formulación de Modelos de Localización, Erkut y Neuman (1992) en el desarrollo de su trabajo presentan un modelo multi-objetivo para representar las compensaciones involucradas cuando se localiza una o más instalaciones indeseables para el servicio de una región. Ellos asumen que la región requiere una cierta capacidad para el servicio, y que esta capacidad pueda ser conocida por la construcción de una combinación de instalaciones de diferentes tamaños. Los ejemplos podrían incluir rellenos sanitarios, incineradores y estaciones generadoras de energía. Los objetivos que identifican los autores son minimizar el costo total de la localización de instalaciones, la oposición total a las instalaciones, y la máxima inutilidad impuesta en alguien. La oposición y la inutilidad se asumen para ser funciones de distancia decrecientes no lineales, y funciones crecientes del tamaño de las instalaciones. Con la investigación y la información que los autores recolectaron, formulan el modelo como un programa entero mixto multi-objetivo, y se genera el conjunto de soluciones eficientes usando un algoritmo de enumeración. El código que ellos utilizan puede resolver problemas de tamaño real en un microcomputador. Finalmente los autores ilustran con un ejemplo las compensaciones entre los tres objetivos, los cuales son inevitables en problemas de localización.

Luego del trabajo anterior, Medina y Cerda (2007) desarrollan un modelo de localización óptima aplicado a los RS, en el que se analiza los principios y estructuras del tipo de modelación de actividades desagradables (Obnoxious

Location Models), revisando criterios de “eficiencia espacial” en la ubicación, la cual se plantea alcanzar con modelos de localización-asignación que buscan optimizar el costo total, y criterios de “justicia espacial” en la distribución de externalidades, donde se calibran curvas de rechazo con métodos econométricos para su logro. Finalmente todos los criterios y objetivos se optimizan en una estructura multi-objetivo ponderada. Este modelo mixto se aplica a la localización de estaciones de transferencia y rellenos sanitarios en la Región Metropolitana de Santiago, Chile, obteniendo localizaciones óptimas en los ámbitos reconocidos inicialmente, y asignaciones adecuadas de residuos sólidos comunales a las localizaciones encontradas.

En el mismo sentido, Captivo y Namorado (2008) en su trabajo titulado “Herramientas Multi-criterio Lineales Enteras Mixtas para Problemas de Localización – Una Revisión Crítica Actualizada Ilustrada con un SAD Bi-criterio” hacen una revisión de los modelos mixtos de localización multi-criterio más importantes, así como de las técnicas que consideran algunas cuestiones importantes. Los problemas de localización son, en general, multi-dimensionales sobre todo cuando se pretende desarrollar una planificación sostenible, y de esta forma, los enfoques multi-criterio son las directrices más adecuadas en muchas situaciones prácticas. Sin embargo, sólo un pequeño porcentaje de publicaciones de esta área se enfocan en modelos o técnicas multi-criterio. El trabajo surge debido a que, en general, los diferentes criterios son introducidos en el modelo como restricciones que imponen algún valor máximo o mínimo, o que son orientadas por un criterio sustituto (por ejemplo una distancia) en una estructura de apenas una función objetivo. En este trabajo los autores también evalúan la adecuación de los modelos existentes a la realidad. Se destaca la importancia de los planteamientos interactivos, en particular se discute una herramienta de soporte a la decisión de la cual también son autores los homónimos del artículo.

En cuanto a técnicas de decisión Multi-criterio, Manyoma, Pardo y Torres (2013) realizan un trabajo investigativo titulado “Localización de depósitos internos para residuos sólidos hospitalarios utilizando técnicas multi-criterio”, en el que se propone una metodología de selección de los depósitos internos de residuos y desechos en hospitales, basándose en técnicas multi-criterio. La importancia de la localización de dichos depósitos es significativa, y su gestión y correcto tratamiento impide que sea una labor trivial, y obliga a contemplar diversos factores, como normas locales asociadas o los requerimientos propios del generador. Las técnicas multi-criterio (Analytic Hierarchy Process, **AHP**, y Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, **TOPSIS**), buscan la comparación de las opiniones del grupo decisor para seleccionar la mejor alternativa de localización, y la mezcla de técnicas desarrollada en la metodología presentada permite robustecer la toma de decisiones. Dicha metodología es implementada por los autores para un caso de estudio de un centro de salud de Santiago de Cali, Colombia, en el que se observa el paso a paso de la metodología y la complementariedad de las diferentes técnicas usadas.

5. MARCO TEÓRICO

Este capítulo comienza mostrando una clasificación de los RS y los colores de los diferentes botes de basura para separar dichos residuos en la fuente, esta información se extrae de la Guía Técnica Colombiana GTC 24 de 2009.

Posteriormente se mostrarán conceptos que se deben tener en cuenta en la construcción de modelos matemáticos en la sección 5.3 y 5.4 tomadas de Bravo, Juan J. (2013) conceptos de optimización multi-objetivo y métodos de solución mostrados en la sección 5.5 Coello (2002) y finalmente se muestra el algoritmo del método multi-criterio TOPSIS sección 5.6 tomado de Mellinas (2012).

5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

En la siguiente tabla se puede observar la categoría y clasificación general de los RS domiciliarios.

Tabla 2. Clasificación general de los residuos domiciliarios

Tipo de residuo	Clasificación	Ejemplos
Residuos no peligrosos	Aprovechable	Cartón y papel (hojas, plegadiza, periódico, carpetas). Vidrio (Botellas, recipientes) Plásticos (bolsas, garrafas, envases, tapas) Residuos metálicos (chatarra, tapas, envases) Textiles (ropa, limpiones, trapos) Madera (aserrín, palos, cajas, guacales, estibas) Cuero (Ropa, accesorios) Empaques compuestos (cajas de leche, cajas jugo, cajas de licores, vasos y contenedores desechables)
	No aprovechable	Papel tisú (papel higiénico, paños húmedos, pañales, toallas de mano, toallas sanitarias, protectores diarios) Papeles encerados, plastificados, metalizados. Cerámicas. Vidrio Plano. Huesos. Material de barrido. Colillas de cigarrillo. Materiales de empaque y embalaje sucios

	Orgánicos Biodegradables	Residuos de comida. Cortes y podas de materiales vegetales. Hojarasca.
Residuos peligrosos		A nivel doméstico se generan algunos de los siguientes residuos peligrosos: Pilas, lámparas fluorescentes, aparatos eléctricos y electrónicos. Productos químicos varios como aerosoles inflamables, solventes, pinturas, plaguicidas, fertilizantes, aceites y lubricantes usados, baterías de automotores y sus respectivos envases o empaques. Medicamentos vencidos. Residuos con riesgo Biológico tales como: cadáveres de Animales y elementos que ha entrado en contacto con bacterias, virus o microorganismos patógenos, como agujas, residuos humanos, limas, cuchillas, entre otros. Para el manejo de estos residuos se recomienda no mezclarlos e informarse acerca de diferentes entidades que se encargan de su gestión. A nivel industrial, institucional y comercial está reglamentado con base en la legislación vigente.
Residuos especiales		Escombros. Llantas usadas. Colchones. Residuos de gran volumen como por ejemplo: muebles, estanterías, electrodomésticos. Para el manejo de estos residuos se recomienda informarse acerca de servicios especiales de recolección establecidos.

Fuente: Guía Técnica Colombiana GTC 24 de 2009.

5.2. SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

Para hacer la separación desde la fuente de los RS se requiere educar al generador, poder crear un nuevo hábito (una nueva cultura) para que logre mantenerse en la labor de separar sus residuos. Los residuos se deben separar de tal forma que no se contaminen con otros residuos, situación que ocurre, por ejemplo, cuando se mezcla el papel con los envases que suelen contener líquidos que terminan afectando la calidad del papel.

✓ Criterios para la separación en la fuente

La separación en la fuente es una actividad que debe realizar el generador de los residuos con el fin de seleccionarlos y almacenarlos en recipientes o contenedores

con el fin de facilitar su posterior transporte, aprovechamiento, tratamiento o disposición. Esto garantiza la calidad de los residuos aprovechables y facilita su clasificación, por lo que los recipientes o contenedores empleados deberían ser claramente diferenciables, bien sea por color, identificación o localización.

En Colombia se tiene la guía GTC 24 de 2009 para la identificación de las canecas por código de colores.

Tabla 3. Clasificación de Canecas según su color

LOS COLORES Y LOS TIPOS DE LOS RESÍDUOS		
Gris: Papel Cartón		Papel y cartón limpio y seco, no debe estar arrugado, no se debe depositar allí papel aluminio, papel carbón, papel térmico (como el de fax), papel higiénico, servilletas, pañuelos desechables.
Azul: Plástico		Material limpio y seco, envases de bebidas no retornables inservibles, vasos desechables, bolsas plásticas, no se debe depositar allí las envolturas de mecato.
Verde: Ordinarios		Papel sucio o engrasado, papel aluminio, papel carbón, envolturas de mecato, residuos de barrido, icopor, colillas, servilletas, pañales, papel higiénico, bolsas de carne, pollo o pescado.

Blanco: Vidrio	 <p>Vidrio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Envases de vidrio • Botellas 	Botellas, envases y frascos no retornables. No se considera vidrio reciclable los bombillos o espejos rotos.
Amarillo: Aluminio	 <p>Aluminio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Envases de bebidas y alimentos enlatados 	Envases en lata de cerveza, gaseosa, bebidas energizantes, snacks, etc.
Habano: Orgánicos	 <p>Orgánicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Restos de alimentos • Frutas, verduras • Residuos de jardín 	Residuos de comida antes y después de preparada (cáscaras de frutas y vegetales, ripio de café, huesos y cáscaras de huevo), plantas, grama, flores, hojas.
Rojo: Residuos peligrosos	 <p>Residuos Peligrosos</p>	Material impregnado con hidrocarburos como combustibles o aceites. (Papeleras tapa vaivén)

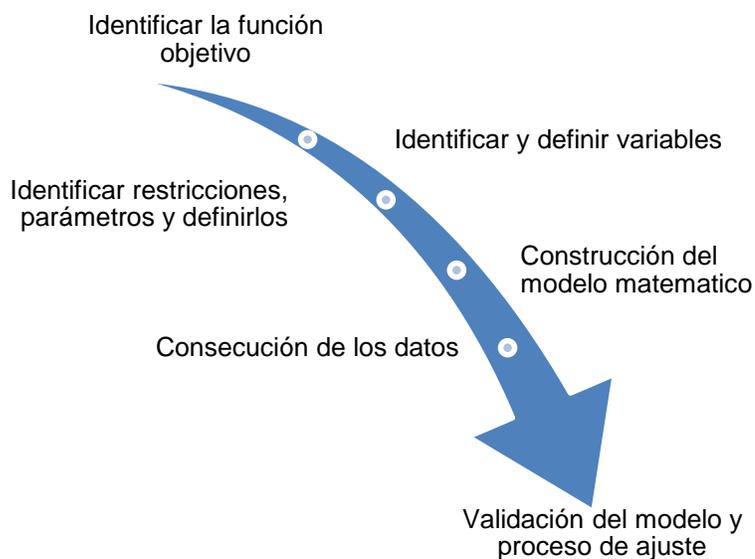
Rojo: Riesgo biológico		Gasas, algodones, vendas, catéteres, sondas, guantes de látex, material de curación y demás residuos contaminados que generen contagios o infecciones. (Papeleras tapa tipo pedal)
------------------------	--	--

Fuente: Adaptado de Guía Técnica Colombiana GTC 24 de 2009.

5.3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO

Antes de hablar de las variables, es conveniente decir que previo a ellas debe primero haberse identificado lo que se llama Función Objetivo, y curiosamente esta relación de precedencia estricta que no se ha encontrado en la literatura científica pero sí es necesaria en la práctica. Además, quienes se dedican a la construcción de modelos matemáticos deben darse cuenta también que las restricciones se identifican después de las variables.

Ilustración 1. Pasos para la construcción de modelos matemáticos



Fuente: Adaptado de Bravo (2013)

5.4. PARTES DE UN MODELO MATEMÁTICO

A continuación se muestra detalladamente las partes que conforman un modelo matemático.

5.4.1. Función objetivo

La función objetivo surge a partir de una pregunta general o fundamental que una empresa desea responderse, y es tradicionalmente única. Si se piensa en una jerarquía, la pregunta en cuestión es aquella que se encuentra en el nivel superior, y de la cual se derivan otras preguntas.

La palabra “optimizar” implica que se buscará “la mejor respuesta” a la inquietud que se plantee, y es por eso que el objetivo puede ser buscar la forma de obtener los mínimos costos (minimizar costos), o las maximizas utilidades posibles (maximizar utilidades), o ver la manera de invertir un dinero con los mínimos riesgos financieros posibles (minimizar riesgos), entre otras opciones.

5.4.2. Variables de decisión

Se sugiere identificar las variables partiendo de una serie de preguntas derivadas de la pregunta fundamental.

Las respuestas a las “preguntas derivadas” deben hacerse en consonancia con la función objetivo, lo cual quiere decir que por ejemplo la pregunta ¿Cuántos camiones deberían contratarse para cada ruta? Que proviene de la pregunta fundamental ¿Cómo se podrían disminuir los costos de distribución? podría hacerse más bien así: ¿cuántos camiones deberían contratarse para cada ruta con el fin de minimizar los costos de logística? Al analizar esta última pregunta puede advertirse fácilmente que el “número de camiones contratados por ruta” es evidentemente una variable que afecta los costos globales de logística de la empresa (por su afectación directa a los costos de distribución), pero se necesita que esta variable puede llamarse variable de decisión, tal como los modelos de

optimización lo requieren y para eso se necesita un requisito especial. Una variable de decisión es aquella variable sobre la cual la empresa tiene control o poder de decisión.

✓ **Tipos de variables**

En la sección anterior se contempla que las variables pueden ser de tipo entero (cuyos valores sólo pueden estar en dominio de los números enteros, es decir: 0, 1, 2...) o continuo (cuyos valores pueden estar en el dominio de los números reales, es decir que pueden tomar valores con decimales).

Un caso particular de variables enteras son las variables binarias, que juegan un papel preponderante en la construcción de modelos de optimización en la práctica. Estas variables se usan para apoyar la representación de problemas de decisión dicotómicos, con dos caminos posibles.

5.4.3. Restricciones

Desde la perspectiva práctica y teórica las restricciones son aquellas limitaciones del sistema empresarial que restringen el valor que las variables puedan tomar. Matemáticamente las restricciones pueden ser de cuatro tipos:

- ✓ Endógenas tipo I: aquellas relacionadas con los “recursos escasos” de una organización.
- ✓ Endógenas tipo II: aquellas asociadas con relaciones entre las variables.
- ✓ Exógenas: aquellas relacionadas con exigencias del entorno.
- ✓ Aquellas relacionadas a la clase de variables empleadas.

Las restricciones endógenas tipo I corresponden al tipo más común de restricciones y de ellas se habla casi con exclusividad en los textos de optimización. Corresponde a limitaciones internas como disponibilidad de: presupuesto, espacio de almacenamiento, número de máquinas, número de empleados, capacidad, entre otras. Las tipo II en cambio corresponden a relaciones entre variables, y un ejemplo de ello puede ser cuando dos o más

variables deben ser necesariamente mutuamente excluyentes, o cuando debe plantearse matemáticamente el hecho de que si una variable toma algún valor entonces otra también debe tomar algún valor (coexistencia), entre otras muchas relaciones propias de cierto sistema a modelar.

5.4.4. Parámetros

Los parámetros corresponden a aquella información específica que será requerida por el modelo matemático que se construya. Esto quiere decir que no se trata entonces de la información que en un inicio se manipuló y procesó, sino que se trata de una información muy particular, con un formato específico, y que tendrá un fin y un lugar concreto en el modelo.

5.5. OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

El problema de optimización multi-objetivo **MOP** (también llamado optimización multi-criterio, multi-rendimiento o problema de optimización vector) se puede definir como: Un vector de variables de decisión que satisface las restricciones y optimiza una función vectorial cuyos elementos representan las funciones objetivo. Estas funciones forman una descripción matemática de los criterios de desempeño que generalmente están en conflicto entre sí. Por lo tanto, el término "optimizar" significa encontrar una solución tal que daría a todas las funciones objetivo un valor aceptable para la toma de decisiones.

5.5.1. Terminología de Pareto

Al tener un problema con varias funciones objetivo, la noción del "óptimo" varia, porque en la MOP el objetivo es encontrar buenos compromisos (o "trade-offs") en lugar de una sola solución como en la optimización global.

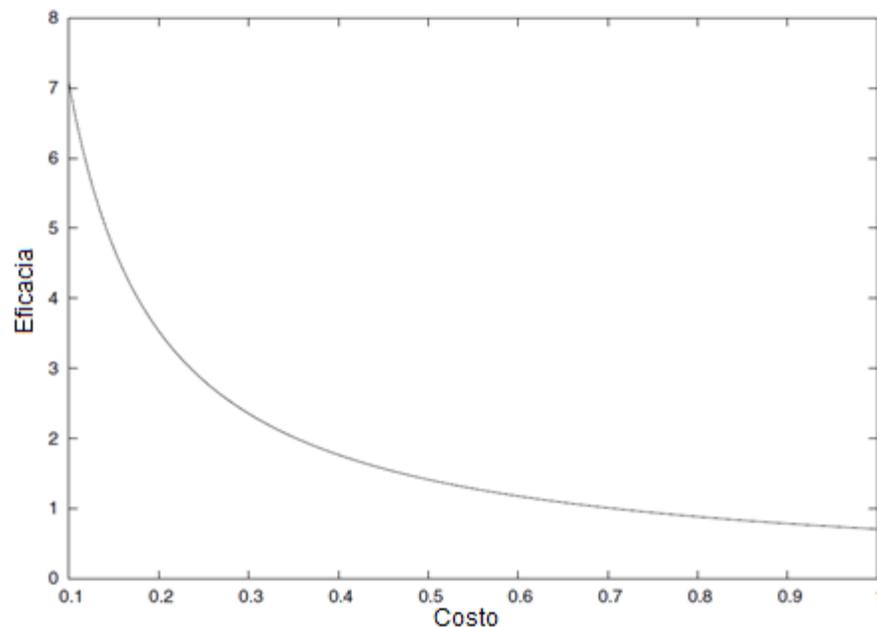
La noción de "óptimo" más comúnmente adoptada es la propuesta por Francis Ysidro Edgeworth y posteriormente generalizada por Vilfredo Pareto. Aunque

algunos autores llaman a este concepto el óptimo Edgeworth-Pareto, el término más comúnmente aceptada es Pareto óptimo. La definición formal se proporciona a continuación.

Una solución $x \in \Omega$ se dice que es óptimo de Pareto con respecto a (*w.r.t.*) Ω si y sólo si, no hay $x' \in \Omega$ para el que $v = F(x') = (f_1(x'), \dots, f_k(x'))$ Domina $u = F(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x))$. La frase “óptimo de Pareto” se entiende en relación con la totalidad del espacio variable de decisión a menos que se especifique lo contrario.

A continuación se muestra un problema con 2 funciones objetivos: el costo y la eficacia. El frente de Pareto, o la superficie de compensación, está delineada por una línea curva.

Ilustración 2. Relación entre Costo y Eficacia



Fuente: Adaptado Coello Coello (2002)

Esta definición dice que x^* es un óptimo de Pareto si no existe ningún vector x factible que disminuiría algún criterio sin causar un aumento simultáneo de al menos otro criterio.

5.5.2. Método de ordenamiento lexicográfico para la solución de *MOPs*

Este es un método peculiar en el que las agregaciones realizadas no son escalares. En este método, los objetivos se clasifican por orden de importancia en la toma de decisiones (de mejor a peor). La solución óptima x^* se obtiene reduciendo al mínimo las funciones objetivo, empezando con el más importante de acuerdo con el orden de importancia de los objetivos. Se deja que los subíndices de los objetivos muestren no sólo el número de la función objetivo, sino también la prioridad de los objetivos. Por lo tanto, $f_1(x)$ y $f_k(x)$ denotan las funciones objetivo más y menos importante respectivamente. A continuación, el primer problema se formula como:

$$\text{Minimizar } f_1(x)$$

Sujeto a:

$$g_j(x) \leq 0; \quad j = 1, 2, \dots, m$$

Y su solución x_1^* y $f_1^* = f_1(x_1^*)$ es obtenida. A continuación el segundo problema se formula como:

$$\text{Minimizar } f_2(x)$$

Sujeto a:

$$g_j(x) \leq 0; \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$f_1(x) = f_1^*$$

Y si obtiene la solución de este problema como x_2^* y $f_2^* = f_2(x_2^*)$ Este procedimiento se repite hasta que se hayan considerado los k objetivos. El problema i -ésimo está dado por:

$$\text{Minimizar } f_i(x)$$

Sujeto a

$$g_j(x) \leq 0; \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$$f_l(x) = f_l^*, \quad l = 1, 2, \dots, i - 1$$

La solución obtenida, es decir x_k^* se toma como la solución deseada del problema.

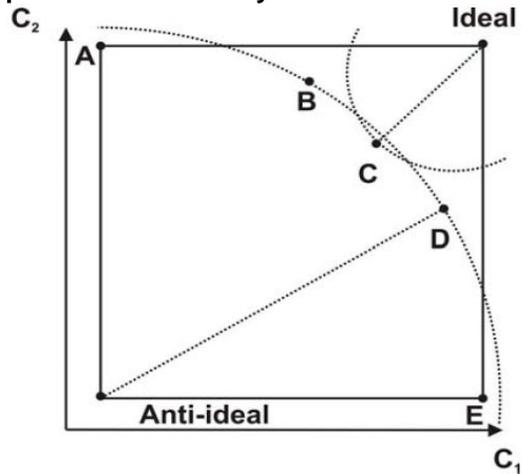
5.5.3. Otros métodos de solución de *MOPs*

- ✓ Vector Evaluated GA (VEGA)
- ✓ Vector Optimized Evolution Strategy (VOES)
- ✓ Weight-Based GA (WBGA)
- ✓ Multiple Objective GA (MOGA)
- ✓ Niche Pareto GA (NPGA, NPGA 2)
- ✓ Nondominated Sorting GA (NSGA, NSGA-II)
- ✓ Distance-based Pareto GA (DPGA)
- ✓ Thermodynamical GA (TDGA)
- ✓ Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA, SPEA2)
- ✓ Multi-Objective Messy GA (MOMGA-I,II,III)
- ✓ Pareto Archived ES (PAES)
- ✓ Pareto Envelope-based Selection Algorithm (PESA, PESA II)
- ✓ Micro GA-MOEA (μ GA, μ GA²)
- ✓ Multi-Objective Bayesian Optimization Algorithm (mBOA)

5.6. MÉTODO MULTICRITERIO *TOPSIS*

El método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) de Hwang y Yoon afronta el dilema de trabajar con el ideal, con el anti-ideal o con la mezcla de los dos. Para ver que esto es realmente un dilema, pues puede conducir a resultados diferentes, basta observar la siguiente figura, en la que se han representado cinco alternativas (A, B, C, D y E) para un problema de dos criterios. También aparecen en la figura los puntos ideal y anti-ideal, respecto a los que inmediatamente se observa que C es el más próximo al ideal mientras que D es el más lejano del anti-ideal (en ambos casos utilizando una métrica de distancia euclidiana y pesos iguales) para lo cual el método buscará la solución que este lo más cerca del idea pero a la vez lo más lejos del anti-ideal.

Ilustración 3. Gráfico comparativo entre Ideal y Anti-Ideal

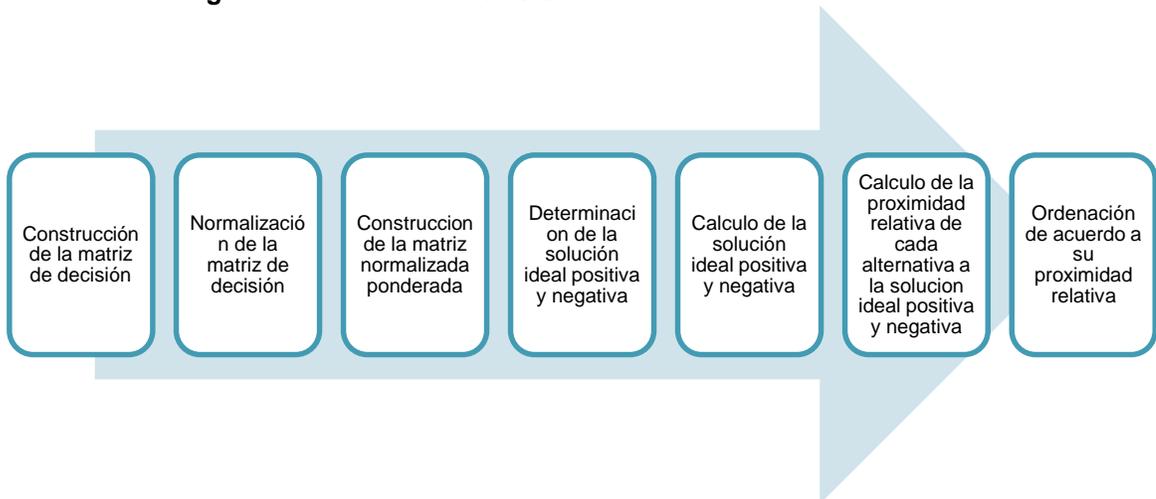


Fuente: Mellinas Fernández (2012)

✓ **Algoritmo del método TOPSIS**

El siguiente gráfico muestra los pasos que sigue la metodología multi-criterio TOPSIS.

Ilustración 4. Algoritmo del método TOPSIS



Fuente: Adaptado de Mellinas Fernández (2012)

➤ **Establecimiento de la matriz de decisión**

El método TOPSIS evalúa la siguiente matriz de decisión que se refiere a m alternativas A_i , $i = 1, \dots, m$, las cuales son evaluadas en función de n criterios C_j , $j = 1, \dots, n$;

Tabla 4. Matriz de decisión del método TOPSIS.

	w_1	w_2	...	w_n
	C_1	C_2	...	C_n
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}
...
A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mn}

Fuente: Adaptado de Mellinas Fernández (2012)

Donde x_{ij} denota la valoración de la i -ésima alternativa en términos del j -ésimo criterio. Y donde $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ es el vector de pesos asociado con C_j .

➤ **Normalización de la matriz de decisión**

En el método TOPSIS primero convierte las dimensiones de los distintos criterios en criterios no dimensionales. Un elemento \overline{n}_{ij} de la matriz de decisión normalizada $N = [\overline{n}_{ij}]_{man}$ se calcula como sigue:

$$\overline{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij})^2}} \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m.$$

➤ **Construir la matriz de decisión normalizada ponderada**

El valor normalizado ponderado \overline{v}_{ij} de la matriz de decisión normalizada ponderada $V = [\overline{v}_{ij}]_{man}$ se calcula como:

$$\overline{v}_{ij} = w_j \times \overline{n}_{ij} \quad j = 1, \dots, n; \quad i = 1, \dots, m.$$

Donde, w_j tal que 1 pertenece $\sum_{j=1}^m w_j$ es el peso del j -ésimo atributo o criterio, si se habla del caso crisp se verifica la igualdad. Es bien conocido que los pesos de los criterios en un problema de decisión no tienen el mismo significado y no todos tienen la misma importancia. Estos pesos pueden obtenerse de diferentes modos: mediante asignación directa, mediante el método AHP (*The Analytic Hierarchy Process*), etc.

➤ **Determinar la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS)**

El conjunto de valores ideal positivo \bar{A}^+ y el conjunto de valores ideal negativo \bar{A}^- se determina como:

$$\bar{A}^+ = \{\bar{v}_1^+, \dots, \bar{v}_n^+\} = \{(max_i \bar{v}_{ij}, j \in J)(min_i \bar{v}_{ij}, j \in J')\} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\bar{A}^- = \{\bar{v}_1^-, \dots, \bar{v}_n^-\} = \{(min_i \bar{v}_{ij}, j \in J)(max_i \bar{v}_{ij}, j \in J')\} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Donde J está asociado con los criterios de beneficio y J' está asociado con los criterios de costos.

➤ **Cálculo de las medidas de distancia**

La separación de cada alternativa de la solución ideal positiva \bar{A}^+ está dada como:

$$d_i^+ = \left[\sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^+)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad i = 1, \dots, m$$

Y la separación de cada alternativa de la solución ideal negativa \bar{A}^- es como sigue:

$$d_i^- = \left[\sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^-)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad i = 1, \dots, m$$

En este caso se utiliza la distancia Euclidiana m-multidimensional.

➤ **Cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal**

La proximidad relativa \bar{R}_i a la solución ideal puede expresarse como sigue:

$$\bar{R}_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1, \dots, m$$

Si $\bar{R}_i = 1 \rightarrow A_i = \bar{A}^+$

Si $\bar{R}_i = 0 \rightarrow A_i = \bar{A}^-$

Cuanto más próximo es el valor de \bar{R}_i a 1, implica una mayor prioridad de la alternativa i -ésima.

➤ **Ordenación de preferencias**

Se ordenan las mejores alternativas de acuerdo con \bar{R}_i en orden descendente.

6. DESARROLLO METODOLÓGICO

Para el planteamiento del desarrollo metodológico se hace la división en tres secciones por cuestiones teóricas y de análisis, la primera es determinar la localización para los botes de disposición intermedia dentro del bloque universitario de la institución, la segunda sección es la localización de los contenedores de disposición temporal o centros de acopio dentro de las instalaciones de la Universidad, y la tercera es estructurar la ruta y condiciones para el transporte de los RS al interior de las instalaciones de la institución la cual se ajustará a la Guía Técnica GTC 24 de 2009.

En la primera sección se identifica un problema para localizar de la mejor manera posible los botes de basura. Para dicha localización de botes de basura se debe tener en cuenta una serie de criterios, juicios y condiciones que buscan la satisfacción de aspectos de tipo político, económico, socio-cultural y ambiental, como lo son las normatividades, los presupuestos, la cultura de las personas y los problemas de contaminación, de los cuales es notorio y prioritario el cumplimiento de dos criterios: la reducción del número de botes y la minimización de la distancia recorrida hasta dichos botes. El análisis anterior y la condición intrínseca de que el número de botes es inversamente proporcional a la distancia recorrida hasta ellos conlleva al planteamiento y desarrollo de un problema bi-objetivo que busque los mejores resultados para los dos criterios o metas prioritarias y la satisfacción de los demás criterios y juicios.

En la segunda sección se identifican el problema para ubicar los centros de acopio o de disposición temporal. Para la localización de estos centros de acopio se deben tener en cuenta una serie de requerimientos y criterios que permitan elegir las mejores ubicaciones, donde su evaluación es, mayoritariamente, de tipo

cualitativo. En consecuencia para el planteamiento y el desarrollo del problema de esta sección se ajustaría muy bien una técnica de decisión multi-criterio.

Con el desarrollo, los resultados y el análisis de las secciones anteriores, se daría cumplimiento al primer objetivo del estudio.

Para la última sección, la cual es estructurar la ruta y las condiciones para el transporte de los RS al interior de la Universidad, se tiene un problema trivial en cuanto a la ruta a recorrer debido a la distribución que presenta las instalaciones de la UVSP. Por otra parte, las condiciones para la recolección de los RS se van a ajustar según la Guía Técnica Colombiana GTC 24 de 2009 (Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente) y según las otras políticas que tenga predispuesta las directivas de la Institución.

6.1. MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA MINIMIZAR EL NÚMERO DE BOTES DE BASURA Y LA DISTANCIA RECORRIDA HASTA ELLOS.

Para dar cumplimiento a la primera parte del primer objetivo, se prevé la identificación de dos problemas o criterios básicos para la localización de botes de basura. El primero tiene que ver con la cantidad de botes de basura a localizar para dar abasto a las necesidades de la zona, y el segundo se relaciona con la distancia que las personas van a recorrer hasta llegar a dichos botes de basura para depositar sus RS. Esto invita a analizar que un objetivo es inversamente proporcional al otro, debido a que si hay un aumento en el número de botes de basura por consiguiente las personas tendrán mayor disponibilidad de botes, los cuales se ubicarán más cerca de las concentraciones de personas, y por ende se disminuiría la distancia recorrida por las personas hasta un bote de basura donde pueda depositar su RS según su tipo. Para el caso contrario sucede algo similar, una reducción en el número de botes de basura produciría un aumento en la distancia a recorrer por las personas para depositar sus residuos en el punto respectivo. De acuerdo con la estructura del caso y los criterios a evaluar, del

problema se desarrollará un modelo bi-objetivo con el cual se pretende minimizar los objetivos anteriormente mencionados.

Para el planteamiento y desarrollo del modelo es necesario hacer una caracterización de los residuos al interior de bloque de la Universidad con el fin de determinar los sitios generadores y las cantidades generadas, igualmente se debe obtener las distancias a recorrer desde todos los sitios generadores hasta los posibles sitios candidatos para obtener de esta manera alimentar el modelo que se planteará. Para visualizar las tablas de distancias ver anexo 1.

Por cuestiones metodológicas, en el modelo no se tendrán en cuenta los RS generados en las áreas de cocineta, oficinas y fotocopiadora dado que los botes de basura que se manejan en esas localidades son exclusivos y de carácter obligatorio por lo cual no pueden ser ubicados en posiciones diferentes pero en la presentación de resultados se mostrarán las características de los botes de basura que deben ir ubicados en dichos sitios. Las restricciones identificadas para este problema son respecto al presupuesto para el desarrollo del proyecto, la demanda de la población académica de la institución para la disposición de RS y la estética referente a la contaminación visual y al aspecto de belleza de los botes de basura. De esta manera se plantea un modelo para cada piso del bloque, lo que daría un total de tres modelos en los cuales sólo cambiarán los datos y el tamaño de los conjuntos.

Los sitios candidatos para los botes de disposición intermedia al interior del bloque de la UVSP se eligen con los siguientes criterios: un punto a dos (2) metros desde la puerta del salón (sitio generador), con el propósito de que no estén muy alejados los botes de los sitios generadores; ubicar el punto en la pared más libre del mismo salón, con el objetivo de permitir la visibilidad de los botes y no tomar espacio de los pasillos de la Universidad para el tránsito de personas; un punto en el cual el salón vecino se encuentre más retirado, con el fundamento que si se

elige la dirección contraria el bote puede quedar ubicado en el salón vecino, además que la distancia no puede ser menor pues la puerta del salón obstaculizaría la visibilidad del bote.

6.1.1. Modelo en forma verbal

A continuación se describe los objetivos del modelo que se planteará, seguido de las restricciones a las cuales está sujeto el modelo.

6.1.1.1. Función objetivo

Minimizar número botes de disposición intermedia de RS al interior del bloque de la UVSP y la distancia recorrida desde los sitios generadores hasta los tarros.

6.1.1.2. Restricciones

- El costo de todos los botes de disposición intermedia que se van a comprar debe ser menor o igual al presupuesto que nos puede brindar la Universidad. (1)
- El volumen de los botes de disposición intermedia puestos en los sitios candidatos deben suplir la necesidad del volumen de residuos generados para los diferentes tipos. (2)
- El número de botes puestos en una zona determinada por m² debe ser menor al estándar, de lo contrario se vería antiestético. (3)
- Para que un RS con una característica específica pueda ser llevado a un bote de disposición intermedia en un lugar candidato, dicho bote debe estar condicionado para ese propósito. (4)
- Los residuos generados en un lugar determinado de un tipo en específico, deben ser llevados como mínimo a 1 bote de basura ubicado en un sitio candidato con el mismo propósito. (5)

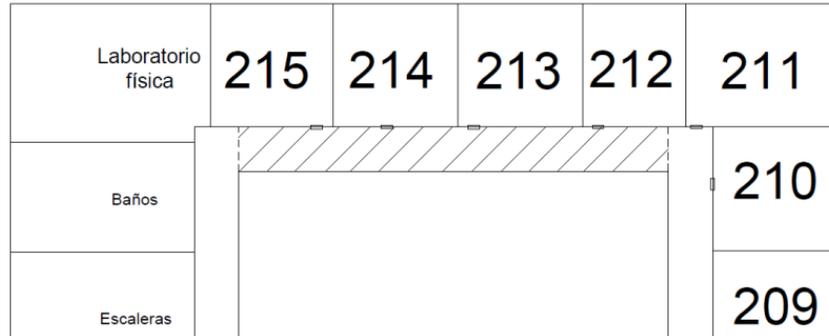
- La capacidad de un bote de disposición intermedia no puede ser superada. (6)
- Si se coloca o no un bote de disposición intermedia es una decisión que se representa con 0 o 1 si es falso o positivo respectivamente. (7)
- Si se elige una ruta para que un residuo sea depositado en un bote es una decisión que se representa con 0 o 1 si es falso o positivo respectivamente. (8)

Con respecto a la estética, este término comprende aspectos como la calidad visual y la calidad estética. El primer concepto es más conocido en ingeniería y tiene como objetivo, por ejemplo, la mejora de la función transporte a través de mejorar la seguridad y eficiencia gracias a diseños de entornos ordenados, con tratamiento de bordes y en definitiva con información visual más fácilmente legible por el observador. El segundo, más ambiguo y subjetivo, comprende objetivos más difíciles y sutiles: belleza, comunicar algo. La calidad estética es una apreciación subjetiva del observador frente a una escena dada, y este hecho se debe a una cierta influencia por parte de la psicología, otra por parte de la metafísica y una adicional por la consideración de una ciencia práctica. Por tanto es inútil objetivar la estética, aunque sí se puede adjetivarla, puesto que existe la posibilidad de educar el gusto. El gusto es adquirido con la experiencia, tras fomentar el análisis, la valoración, ponderación de las cualidades estéticas, por lo cual se puede llegar a un consenso dentro de cada ambiente cultural, obteniendo “gustos” diferentes para cada ambiente (Oró Q., 2007).

Dada la complejidad en la medición de lo estético y teniendo en cuenta que depende del entorno o lugar en el que se realice el estudio, se decide hacer una encuesta para poder encontrar un parámetro que cuantifique esta cualidad, de esta manera se realiza la siguiente pregunta a diferentes personas pertenecientes a la UVSP: ¿Cuántos botes de basura cree usted que son permisibles

visualmente, en el siguiente pasillo, para que no se vea antiestético el paisaje o no haya contaminación visual?

Ilustración 5. Pasillo de referencia para la encuesta.



Fuente: Elaboración propia

Las personas son ubicadas en frente del pasillo que está subrayado y se toma una muestra piloto de 15 personas para poder encontrar la muestra real con la que se trabajará, esta muestra arroja los siguientes resultados:

$$\bar{x} = 4,2 \text{ botes}$$

$$\sigma = 0,5606$$

Para calcular la muestra real usamos la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot \sigma}{e^2(N - 1) + Z^2 \cdot \sigma}$$

Donde N es la población, la cual se define como toda la comunidad de la UVSP la cual es 2058 personas. Se elige un valor de Z igual a 1,96 que representa un nivel de confianza de los resultados de la muestra del 95%. El e es el error de la muestra, que para el caso se define como el 8%.

De esta manera se obtiene un resultado de 289.33 el cual se aproxima a 290 encuestados.

El resultado de la encuesta arrojó que el número de botes permisibles para no afectar el paisaje en un área de 82 m² es en promedio cuatro para las personas de la UVSP. Para conocer los resultados de la encuesta y la muestra piloto ver anexo 2.

6.1.2. Modelo en forma matemática

A continuación se mostrarán los conjuntos y los parámetros seguido de las variables de decisión, la función objetivo y las restricciones que se aplicarán en los modelos para el primer, segundo y tercer piso del bloque de la UVSP.

6.1.2.1. Conjuntos del modelo de localización de botes y minimización de distancias para todos los niveles del edificio

$r =$ Tipo de residuo.

$i =$ Sitio generador de residuos.

$j =$ Sitio candidato para depositar residuos.

6.1.2.2. Elementos de los conjuntos

A continuación se muestra los elementos que conforman los conjuntos de los diferentes modelos. Estos elementos representan todas las divisiones que se han tenido en cuenta en todos los diferentes niveles del edificio de la UVSP.

- Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el primer nivel

$r = \{1 - \text{Plástico}, 2 - \text{Papel y Cartón}, 3 - \text{No reciclable y Orgánico}\}$

$i = \{1 - \text{Salón 105}, \quad 2 - \text{Salón 108}, \quad 3 - \text{Salón 109}, \quad 4 - \text{Salón 110},$
 $\quad 5 - \text{Salón 112}, \quad 6 - \text{Salón 113}\}$

$j = \{1 - \text{Salón 105}, \quad 2 - \text{Salón 109}, \quad 3 - \text{Salón 110}, \quad 4 - \text{Salón 112},$
 $\quad 5 - \text{Salón 113}\}$

- Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el segundo nivel

$r = \{1 - \text{Plástico}, 2 - \text{Papel y Cartón}, 3 - \text{No reciclable y Orgánico}\}$

$j = i = \{1 - \text{Salón 204}, 2 - \text{Salón 205}, 3 - \text{Salón 206}, 4 - \text{Salón 207},$
 $5 - \text{Salón 208}, 6 - \text{Salón 209}, 7 - \text{Salón 210},$
 $8 - \text{Salón 211}, 9 - \text{Salón 212}, 10 - \text{Salón 213},$
 $11 - \text{Salón 214}, 12 - \text{Salón 215}\}$

- **Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el tercer nivel**

$r = \{1 - \text{Plástico}, 2 - \text{Papel y Cartón}, 3 - \text{No reciclable y Orgánico}\}$
 $j = i = \{1 - \text{Salón 305}, 2 - \text{Salón 306}, 3 - \text{Salón 307}, 4 - \text{Salón 308}, 5$
 $- \text{Salón 313}, 6 - \text{Sala B}, 7 - \text{Biblioteca 1}, 8 - \text{Biblioteca 2}, 9$
 $- \text{Biblioteca 3}\}$

6.1.2.3. Variables de decisión del modelo de localización de botes y minimización de distancias para todos los niveles del edificio

Sea X_{rj} la decisión de colocar el bote de propósito r en el sitio candidato j .

Sea Y_{rij} la decisión de llevar el residuo r del sitio generador i a el sitio candidato j .

6.1.2.4. Parámetros del modelo de localización de botes y minimización de distancias para todos los niveles del edificio

D_{ij} = Distancia desde el sitio generador i hasta el sitio candidato j (m)

C_r = Costo de un bote de basura para el propósito r (\$)

PRE = Presupuesto disponible para la compra de los botes de basura (\$)

VOL_r = Volumen de un bote del propósito r (m^3)

GEN_{ri} = Generación de residuos del propósito r en el sitio i (m^3)

A_Z = Área de las Zonas zomunes (m^2)

A_B = Área de la Biblioteca (m^2)

CE = Constante estética (botes/m^2)

6.1.2.5. Función objetivo

$$\min Z_1: \sum_r \sum_j X_{rj}$$

$$\min Z_2: \sum_r \sum_i \sum_j D_{ij} \cdot Y_{rij}$$

6.1.2.6. Restricciones

- **Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el primer y segundo nivel**

$$\sum_r \sum_j C_r \cdot X_{rj} \leq PRE \quad (1)$$

$$\sum_j VOL_r \cdot X_{rj} \geq GEN_r \quad \forall r \quad (2)$$

$$\sum_r \sum_j X_{rj} / A_z \leq CE \quad (3)$$

$$Y_{rij} \leq X_{rj} \quad (4)$$

$$\sum_j Y_{rij} \geq 1 \quad \forall r, i \quad (5)$$

$$VOL_r \cdot X_{rj} \geq \sum_i GEN_{ri} \cdot Y_{rij} \quad \forall r, j \quad (6)$$

$$X_{ij} = \{0,1\} \quad (7)$$

$$Y_{rij} = \{0,1\} \quad (8)$$

- **Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el tercer nivel**

$$\sum_r \sum_j C_r \cdot X_{rj} \leq PRE \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^6 VOL_r \cdot X_{rj} \geq \sum_{i=1}^6 GEN_{ri} \quad \forall r \quad (2.1)$$

$$\sum_{j=7}^9 VOL_r \cdot X_{rj} \geq \sum_{i=7}^9 GEN_{ri} \quad \forall r \quad (2.2)$$

$$\sum_r \sum_{j=1}^6 X_{rj} / A_Z \leq CE \quad (3.1)$$

$$\sum_r \sum_{j=8}^{10} X_{rj} / A_B \leq CE \quad (3.2)$$

$$Y_{rij} \leq X_{rj} \quad (4)$$

$$\sum_j Y_{rij} \geq 1 \quad \forall r, i \quad (5)$$

$$VOL_r \cdot X_{rj} \geq \sum_i GEN_{ri} \cdot Y_{rij} \quad \forall r, j \quad (6)$$

$$X_{ij} = \{0,1\} \quad (7)$$

$$Y_{rij} = \{0,1\} \quad (8)$$

De esta manera queda formulado el modelo de forma matemática y puede ser resuelto mediante el método lexicográfico usando el software AMPL. La solución se presenta en el capítulo de resultados.

6.2. UBICACIÓN CENTROS DE ACOPIO

La generación de RS se da dentro del bloque universitario y en las cafeterías de la UVSP. En estos residuos se puede encontrar residuos aprovechables y no aprovechables, los aprovechables van a ser llevados a un centro de acopio en donde serán almacenados para su posterior utilización o venta. Se parte del supuesto que los residuos van a ser separados en la fuente por la aplicación del modelo que se muestra en el punto 6.1, con el cual la comunidad académica y los visitantes podrán depositar sus residuos en los botes de desechos según su característica. Para la selección de los sitios se va a utilizar una técnica multi-

criterio llamada TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). Esta técnica será aplicada 2 veces ya que se debe tener un centro de acopio para residuos aprovechables y otro para residuos no aprovechables, en ambos casos se evaluarán las mismas alternativas y bajo los mismos criterios.

6.2.1. Determinación de criterios

Según la Guía Técnica Colombia GTC 24 2009, la cual se fundamenta en una serie de leyes y decretos Colombianos se refiere al almacenamiento temporal como el sitio en el que serán depositados los residuos en forma ordenada y correctamente identificados luego de realizar la recolección interna y antes de ser presentados a la empresa recolectora.

Después de que los residuos hayan sido separados se deberían identificar y almacenar de acuerdo con su factibilidad real de aprovechamiento y su compatibilidad. Esto facilitará que no se mezclen, y que se cumpla con la legislación vigente aplicable para evitar su deterioro, y hacer fácil su recolección y transporte.

La guía además muestra una serie de características que deben tener dichos lugares para contar con el acopio seguro las cuales son:

- Contar con adecuada señalización.
- Permanecer en un estado de orden y aseo.
- Contar con protección para aguas lluvias.
- Contar con iluminación y ventilación adecuadas.
- Poseer paredes lisas de fácil limpieza, pisos duros y lavables, con ligera pendiente al interior.
- Poseer acometida de agua y drenaje para lavado.
- Contar con equipos adecuados para extinción de incendios y con fecha de vencimiento válida.

- Contar con un programa de control de vectores y con elementos que restrinjan el acceso de los mismos (ratas, insectos, perros, etc.), con el fin de conservar los materiales y prevenir focos de enfermedad.
- Tener espacio suficiente por tipo de residuo o recipiente para esta labor.
- Disponer de una báscula para establecer un control de generación por indicadores (para sector industrial, comercial, institucional y de servicios)
- No estar ubicados en espacios públicos.
- Contar con un sistema de control de olores.

Según las necesidades de cada centro de acopio y la Guía GTC 24 de 2009 se definen una lista de criterios a tener en cuenta para la ubicación de los centros de acopio.

✓ **Criterios de evaluación para la ubicación de los centros de acopio.**

- C1 – Distancia de la última estación al punto de almacenamiento.
- C2 – Facilidad de acceso al punto.
- C3 – Nivel de aislamiento.
- C4 – Distancia hasta donde entra el carro de la basura.
- C5 – Adecuaciones necesarias.

Para el criterio 1, la distancia desde el punto en el cual está la última estación de la recolección debe ser la más cercana posible hasta donde esté el centro de acopio, esto según la guía GTC 24 de 2009. En el criterio 2, se debe asegurar que la facilidad de acceso al punto sea la más alta, siguiendo el orden de los criterios, también se debe asegurar que el punto elegido tenga un nivel de aislamiento alto, que se deban hacer el mínimo de adecuaciones, y que el punto quede lo más cercano posible hasta donde puede entrar el carro recolector de Palmaseo.

6.2.2. Alternativas o sitios candidatos

Para el caso de estudio, tanto los residuos aprovechables como no aprovechables serán evaluados en los mismos sitios candidatos, debido al propósito final que

requieren los residuos en dichos sitios, el almacenamiento para un uso posterior. La selección de estos sitios candidatos para la ubicación de los centros de acopio se hace eligiendo todos los posibles lugares donde haya un espacio y condiciones ambientales suficientes para colocar un contenedor de basura.

Los sitios candidatos identificados son:

- P1 - Parqueadero de la entrada.
- P2 - Parqueadero Principal.
- P3 - Detrás de las cafeterías.
- P4 - Detrás del lago.

Ilustración 6. Plano superior de la UVSP con sitios candidatos marcados.



Fuente: Adaptado de Universidad del Valle sede Palmira 2010.

6.2.3. Ponderación de criterios

Con el propósito de obtener una adecuada ponderación de todos los criterios evaluados para la selección de los sitios candidatos, se hace uso de la metodología AHP que se fundamenta en el hecho de permitir dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye

cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. A continuación se presentan los pasos para el desarrollo de este método.

6.2.3.1. Matriz de comparación de criterios

En esta matriz se realiza la comparación de un criterio con respecto a otro, teniendo en cuenta el nivel de importancia e influencia de estos. La calificación utilizada está dada según la escala de Saaty.

Tabla 5. Escala de Saaty

ESCALA DE SAATY				
Igual importancia	Ligeramente más importante	Más importante	Fuertemente más importante	Muy fuertemente más importante
1	3	5	7	9

Fuente: Adaptado de Saaty (1980)

Las matrices de comparación para cada tipo de Centro de acopio a seleccionar se presentan a continuación, las cuales se construyeron bajo el criterio de los autores y las personas encargadas de hacer la recolección de residuos en la **UVSP**.

Tabla 6. Matriz de comparación de criterios para residuos aprovechables

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	3	1/5	3	3
C2	1/3	1	1/3	3	3
C3	5	3	1	5	5
C4	1/3	1/3	1/5	1	3
C5	1/3	1/3	1/5	1/3	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Matriz de comparación de criterios para residuos no aprovechables

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	2	1/4	1/4	2
C2	1/2	1	1/5	1/5	5
C3	4	5	1	1	5
C4	4	5	1	1	5
C5	1/2	1/5	1/5	1/5	1

Fuente: Elaboración propia

La interpretación de la tabla anterior en la columna 2 y la fila 1 es que para los decisores el criterio 1 es más importante que el criterio 2, otro ejemplo puede ser que el criterio 3 es ligeramente más importante que el criterio 1.

Para la matriz de los residuos aprovechables la relación de consistencia **RC** es de 0.11 y para la de los residuos no aprovechables es de 0.09. La **RC** de la segunda matriz muestra una pequeña inconsistencia de 0.01, pero dado el hecho de que es una inconsistencia baja, se decide seguir realizando el desarrollo del trabajo con la misma matriz.

6.2.3.2. Vector resultado de criterios y su peso

Tomando como base las matrices de comparación anteriores y realizando las respectivas operaciones matriciales que requiere el método, se obtiene el vector resultado que muestra en valores porcentuales el ranking o priorización de los criterios, cual está en primer lugar, segundo lugar, y así sucesivamente. En seguida se presentan los vectores con las ponderaciones de los criterios para cada tipo de Centro de Acopio.

Tabla 8. Vector resultado de criterios para residuos aprovechables

	C1	C2	C3	C4	C5
W	21.6%	15.9%	47.2%	9.5%	5.8%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Vector resultado de criterios para residuos aprovechables

	C1	C2	C3	C4	C5
W	12.0%	10.6%	33.2%	38.8%	5.3%

Fuente: Elaboración propia

6.2.4. Matriz resultado de comparación de criterios y alternativas

Las siguientes matrices muestran la relación de cada una de alternativa con cada uno de los criterios, y su interpretación es por ejemplo en el centro de acopio de residuos aprovechables la mejor opción del criterio 4 es el sitio candidato P1 y la peor opción es el sitio P3.

Tabla 10. Matriz comparación de criterios y alternativas para residuos aprovechables

W	21.6%	15.9%	47.2%	9.5%	5.8%
	C1	C2	C3	C4	C5
P1	3	7	7	9	5
P2	6	6	6	2	5
P3	9	4	3	1	3
P4	1	2	7	8	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Matriz comparación de criterios y alternativas para residuos no aprovechables

W	12.0%	10.6%	33.2%	38.8%	5.3%
	C1	C2	C3	C4	C5
P1	3	7	7	9	7
P2	6	6	6	2	7
P3	9	4	3	1	3
P4	1	2	7	8	4

Fuente: Elaboración propia

Para conocer cómo se evaluaron los criterios de distancia y adecuaciones necesarias ver anexo 3.

6.2.5. Matriz de decisión normalizada

El método TOPSIS indica la necesidad de la normalización de la matriz porque es diferente que una alternativa obtenga el mismo puntaje en diferentes criterios. No es lo mismo un 7 en el criterio C2 que un 7 en el criterio C3.

Tabla 12. Matriz de decisión normalizada para residuos aprovechables

W	21.6%	15.9%	47.2%	9.5%	5.8%
	C1	C2	C3	C4	C5
P1	0.266	0.683	0.585	0.735	0.577
P2	0.532	0.586	0.502	0.163	0.577
P3	0.799	0.390	0.251	0.082	0.346
P4	0.089	0.195	0.585	0.653	0.462

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Matriz de decisión normalizada para residuos no aprovechables

W	12.0%	10.6%	33.2%	38.8%	5.3%
	C1	C2	C3	C4	C5
P1	0.266	0.683	0.585	0.735	0.631
P2	0.532	0.586	0.502	0.163	0.631
P3	0.799	0.390	0.251	0.082	0.271
P4	0.089	0.195	0.585	0.653	0.361

Fuente: Elaboración propia

6.2.6. Matriz de decisión normalizada y ponderada

A continuación se muestran los valores de la matriz normalizada multiplicada por cada peso de cada criterio, como lo propone el método.

Tabla 14. Matriz de decisión ponderada para residuos aprovechables

	C1	C2	C3	C4	C5
P1	0.058	0.108	0.276	0.070	0.033
P2	0.115	0.093	0.237	0.016	0.033
P3	0.173	0.062	0.118	0.008	0.020
P4	0.019	0.031	0.276	0.062	0.027

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Matriz de decisión ponderada para residuos no aprovechables

	C1	C2	C3	C4	C5
P1	0.029	0.076	0.212	0.266	0.034
P2	0.059	0.065	0.182	0.059	0.034
P3	0.088	0.043	0.091	0.030	0.015
P4	0.010	0.022	0.212	0.237	0.020

Fuente: Elaboración propia

6.2.7. Cálculo de la solución ideal positiva y negativa

A continuación se tome como la solución ideal positiva el número máximo y como la solución ideal negativa el número mínimo.

Tabla 16. Solución ideal positiva y negativa para residuos aprovechables

	C1	C2	C3	C4	C5
A+	0.173	0.108	0.276	0.070	0.033
A-	0.019	0.031	0.118	0.008	0.020

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Solución ideal positiva y negativa para residuos no aprovechables

	C1	C2	C3	C4	C5
A+	0.088	0.076	0.212	0.266	0.034
A-	0.010	0.022	0.091	0.030	0.015

Fuente: Elaboración propia

6.2.8. Cálculo de la proximidad relativa de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa

Según lo propone el método se calcula la proximidad relativa de cada alternativa a las diferentes soluciones, estas se pueden apreciar a continuación:

Tabla 18. Proximidad relativa para residuos aprovechables

d+	P1	0.115	d-	P1	0.191
	P2	0.090		P2	0.165
	P3	0.177		P3	0.157
	P4	0.172		P4	0.167

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Proximidad relativa para residuos no aprovechables

d+	P1	0.059	d-	P1	0.273
	P2	0.212		P2	0.117
	P3	0.269		P3	0.081
	P4	0.101		P4	0.240

Fuente: Elaboración propia

6.2.9. Ordenación de acuerdo con su proximidad relativa (Ranking)

El resultado final se muestra a continuación y muestra las mejores alternativas siendo la P2 para el centro de acopio de residuos aprovechables y la P1 para el centro de acopio de residuos no aprovechables.

Tabla 20. Ranking para residuos aprovechables

Ri	0.6240	P1
	0.6479	P2
	0.4700	P3
	0.4927	P4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Ranking para residuos no aprovechables

Ri	0.8229	P1
	0.3569	P2
	0.2322	P3
	0.7043	P4

Fuente: Elaboración propia

6.3. RUTA Y CONDICIONES DE TRANSPORTE DE LOS RS.

La ruta y condiciones para el transporte de los RS serán estructuradas conforme a la Guía Técnica Colombia GTC 24 de 2009, la cual propone unos puntos que deben considerarse durante el transporte. Estos puntos son los siguientes:

- Las rutas internas deberían garantizar que se recolecte la totalidad de los residuos generados.
- La frecuencia de recolección interna debería considerar que el tiempo de permanencia de los residuos en los sitios de generación sea el mínimo posible.
- Los procedimientos de recolección deberían ser realizados en forma segura, evitando al máximo el derrame de los residuos. La recolección interna no debería ocasionar que la separación de residuos, previamente hecha, se pierda.
- Se recomienda que el recorrido entre los puntos de generación y el lugar de acopio de los residuos sea el más corto posible.
- Es aconsejable tener en cuenta que se deben realizar actividades de lavado, limpieza y desinfección de los recipientes, de los vehículos de recolección y demás implementos utilizados.

Para los diferentes niveles del edificio de la UVSP, se realizará un recorrido cubriendo todos los puntos en donde la comunidad universitaria depositarán sus residuos sólidos.

Se hará un sólo recorrido para cada nivel en el cual se recolectarán todos los tipos de residuos en diferentes bolsas, y esto se logrará mediante un carro con tres contenedores que tiene una capacidad de 120 litros cada contenedor. Los contenedores serán respectivamente para el propósito de papel y cartón, residuos orgánicos y no aprovechables y plástico, sus colores serán gris, naranja y azul según el orden mencionado anteriormente. El color de las bolsas de los residuos pueden ser negras o verdes.

A continuación se muestra la ilustración del carro de recolección de residuos.

Ilustración 7. Carro de recolección tipo “Limusine” con 3 contenedores



Fuente: Alpromex

El carro posee las siguientes especificaciones:

- Capacidad de 120 litros cada uno.
- Fabricado en polietileno de media densidad, armazón tubular y ruedas.
- Largo 1.80 metros, ancho 59 cm y alto 1.07 metros.

Cabe resaltar que esta herramienta para la recolección se puede conseguir a nivel comercial.

En cada uno de los pisos del campus universitario se contará con un carro recolector el cual servirá para disminuir el esfuerzo de la persona que realizará la ruta y mejorará las condiciones de la recogida.

La ruta comenzará desde el tercer piso con el fin de que el recolector no tenga que subir los residuos de niveles menores para luego volverlos a bajar y de igual manera comenzarán en los baños porque es en ese lugar en donde se guarda en carro recolector ya que el espacio es el adecuado y terminarán en las escaleras para que el encargado de realizar esta operación pueda transportar las bolsas con los residuos de un nivel superior o uno inferior de una manera más fácil.

Cuando se tengan todos los residuos en sus bolsas en el primer piso, estas serán llevadas por la persona encargada hasta su contenedor dependiendo si es un residuo aprovechable o si no lo es.

La persona encargada de hacer la recolección debe llevar guantes de caucho y tapabocas para evitar alguna infección causada por cualquier residuo.

Para finalizar, las recogidas se efectuarán con una frecuencia diaria ya que el modelo se hizo para que los botes de basura puestos en los diferentes pisos tengan una capacidad total suficiente para suplir la demanda de generación de residuos de un día, de igual manera esta recogida se realizara en la noche cuando el campus universitario se encuentre con menor flujo de personas.

En el siguiente capítulo se expondrá como serán las rutas para cada uno de los niveles.

7. RESULTADOS

En este capítulo se mostrará de una manera resumida los resultados obtenidos de la caracterización de los residuos, el número de botes arrojado por el modelo de optimización con su respectiva distancia asociada para cada uno de los pisos de la UVSP, la ubicación de los centros de acopio y la ruta de recogida al interior del bloque.

7.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

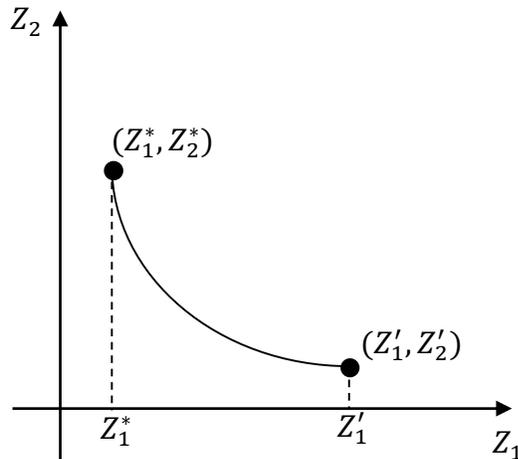
Al interior de la Universidad del Valle sede Palmira se generan aproximadamente 3 toneladas de RS al mes, De los cuales cerca del 43% representan residuos que pueden aprovecharse como lo son: el plástico, el papel y el cartón. Los resultados de la caracterización se presentan en el anexo 4.

7.2. SOLUCIÓN Y RESULTADOS DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA MINIMIZAR EL NÚMERO DE BOTES DE BASURA Y LA DISTANCIA RECORRIDA

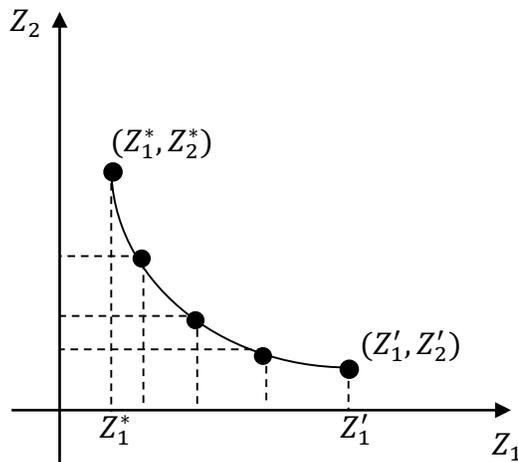
Para la solución de los modelos, se debe tener en cuenta que es un problema bi-objetivo y que el mejoramiento de una función influye negativamente en la otra. Para empezar a solucionar el modelo se usa un ordenamiento lexicográfico el cual propone que se debe empezar resolviendo una de las funciones objetivo y de esta manera obtener un valor de Z_1^* y así solucionar el modelo con la segunda función objetivo adicionando la restricción $Z_1 = Z_1^*$, de este modo se obtendrá un punto factible igual a (Z_1^*, Z_2^*) el cual se puede ubicar en un plano cartesiano donde las abscisas corresponderán a Z_1 y las ordenadas a Z_2 . Posteriormente se vuelve a realizar el mismo procedimiento con la variante de que primero se resolverá el modelo con la función objetivo Z_2 para obtener un valor Z_2' y poder incluir una nueva restricción en el modelo la cual será $Z_2 = Z_2'$ y así obtener un resultado

usando la primer función objetivo que será igual a Z'_1 y poder obtener otro punto factible con coordenadas (Z'_1, Z'_2) .

Este procedimiento dará lugar a crear un gráfico en el cual obtendrá un gráfico de la siguiente manera:



Este grafico muestra una frontera de Pareto en el cual se debe hallar los posibles valores entre Z_1^* y Z'_1 , y así posteriormente encontrar los valores de Z_2 solucionando el modelo y agregando la restricción de los nuevos valores de Z_1 .

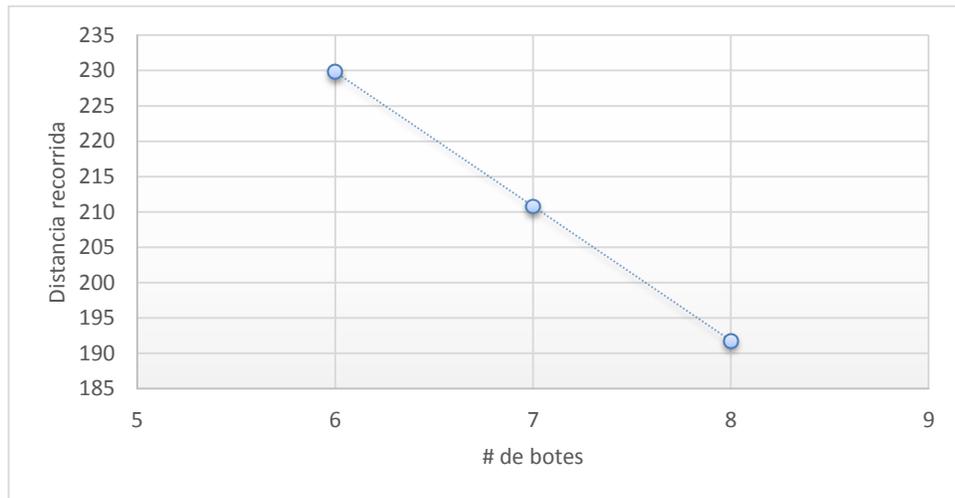


Cuando se tienen todos los posibles valores de las funciones objetivo que están sobre la frontera de Pareto se escoge un valor según criterios.

7.2.1. Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el primer nivel

A continuación se muestra una gráfica que representa una frontera de Pareto de las soluciones posibles del modelo de localización de botes y minimización de distancias recorridas para el primer piso del edificio.

Ilustración 8. Frontera de Pareto para el modelo del primer nivel



Fuente: Elaboración propia

Z_1	Z_2
6	229.8
7	210.8
8	191.8

El primer modelo muestra tres soluciones factibles que se podrían observar como tres puntos en un plano cartesiano. A continuación se muestra un plano a escala del primer piso de la **UVSP** en el cual se puede observar para cada solución que tipo de botes se deben usar y en que ubicación se deben colocar.

Ilustración 9. Ubicación de los tarros de basura en el primer piso para la opción de seis botes



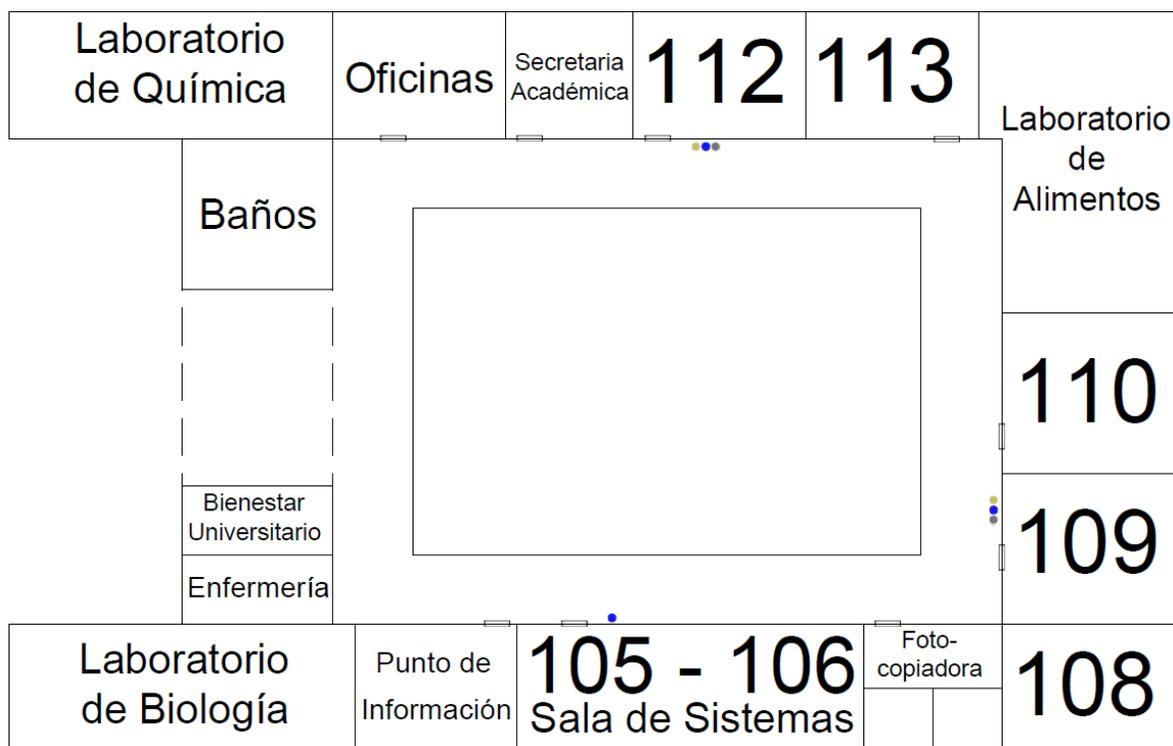
Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Destinos de disposición de residuos para el modelo del primer nivel con seis botes

Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
105	109	109	109
108	109	109	109
109	109	109	109
110	109	109	109
112	112	112	112
113	112	112	112

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 10. Ubicación de los tarros de basura en el primer piso para la opción de siete botes



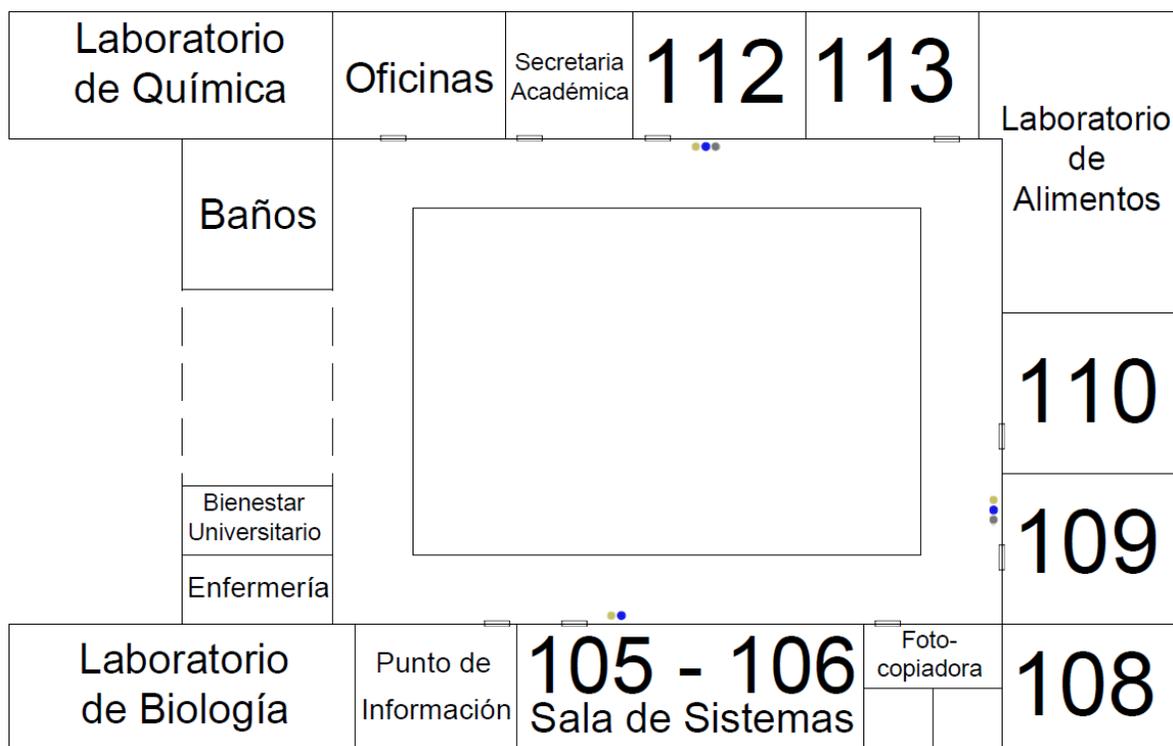
Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Destinos de disposición de residuos para el modelo del primer nivel con siete botes

Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
105	105	109	109
108	109	109	109
109	109	109	109
110	109	109	109
112	112	112	112
113	112	112	112

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11. Ubicación de los tarros de basura en el primer piso para la opción de ocho botes



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Destinos de disposición de residuos para el modelo del primer nivel con ocho botes

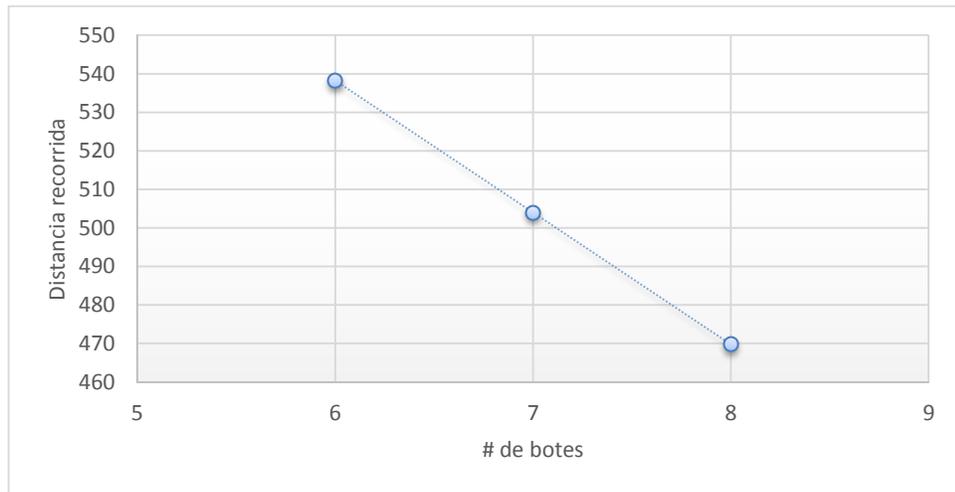
Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
105	105	105	109
108	109	109	109
109	109	109	109
110	109	109	109
112	112	112	112
113	112	112	112

Fuente: Elaboración propia

7.2.2. Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el segundo nivel

A continuación se muestra una gráfica que representa una frontera de Pareto de las soluciones posibles del modelo de localización de botes y minimización de distancias recorridas para el segundo piso del edificio.

Ilustración 12. Frontera de Pareto para el modelo del segundo nivel

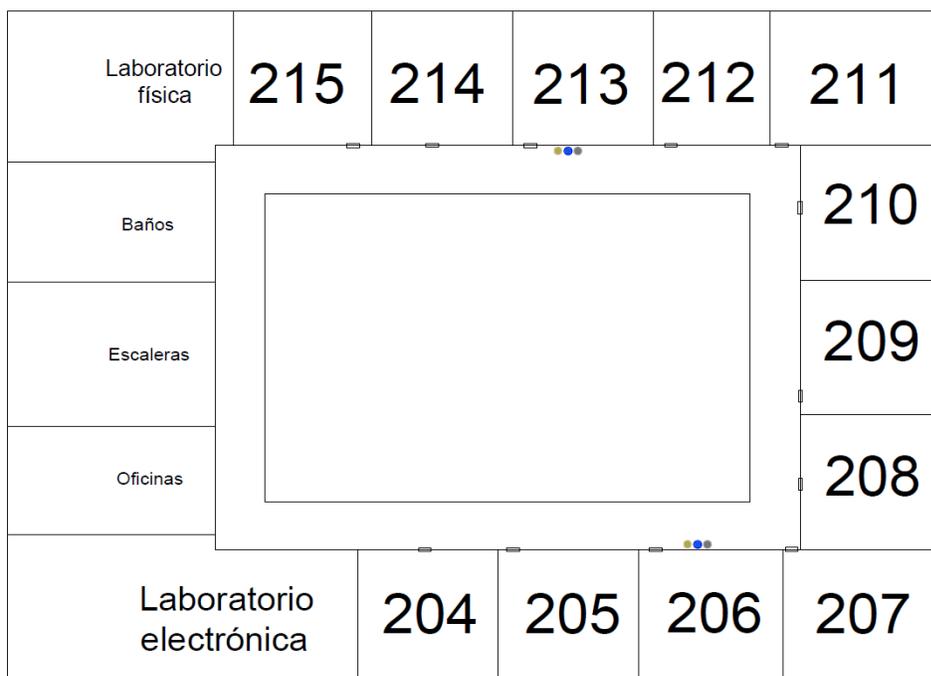


Fuente: Elaboración propia

Z_1	Z_2
6	538.2
7	504
8	469.8

La solución del modelo matemático para el segundo piso da al igual que el primero como número de botes factibles seis, siete u ocho, pero su distancia asociada a cada número de botes varia siendo la siguiente 538.2 m 504 m y 469.8 m respectivamente.

Ilustración 13. Ubicación de la solución de seis botes para el modelo del segundo nivel



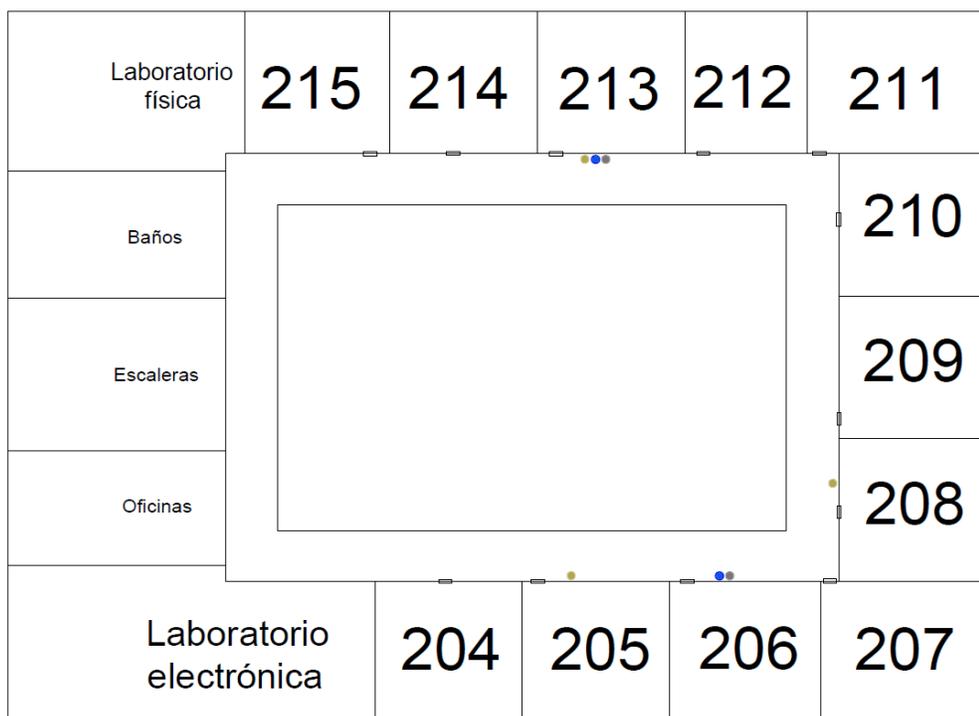
Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Destinos de disposición de residuos para el modelo del segundo nivel con seis botes

Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
204	206	206	206
205	206	206	206
206	206	206	206
207	206	206	206
208	206	206	206
209	206	206	206
210	213	213	213
211	213	213	213
212	213	213	213
213	213	213	213
214	213	213	213
215	213	213	213

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 14. Ubicación de la solución de siete botes para el modelo del segundo nivel



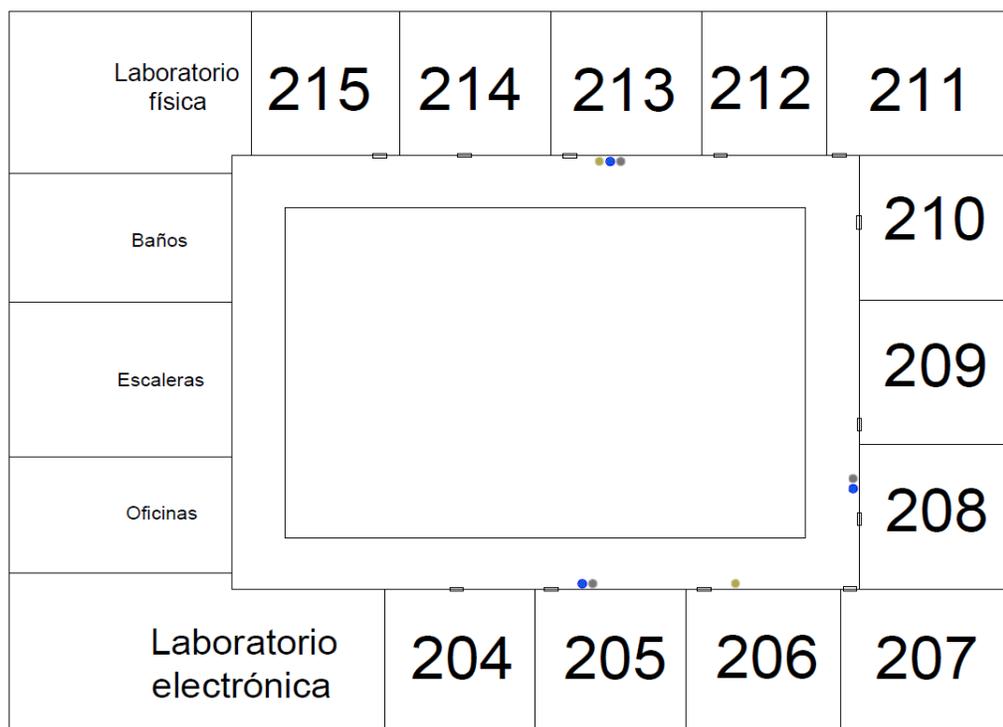
Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Destinos de disposición de residuos para el modelo del segundo nivel con siete botes

Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
204	206	206	205
205	206	206	205
206	206	206	205
207	206	206	208
208	206	206	208
209	206	206	208
210	213	213	208
211	213	213	213
212	213	213	213
213	213	213	213
214	213	213	213
215	213	213	213

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15. Ubicación de la solución de ocho botes para el modelo del segundo nivel



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Destinos de disposición de residuos para el modelo del segundo nivel con ocho botes

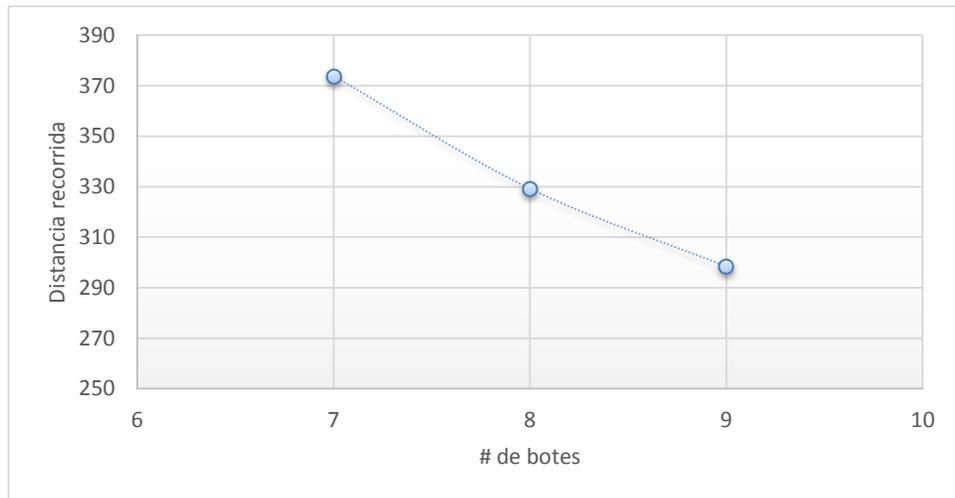
Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
204	205	205	206
205	205	205	206
206	205	205	206
207	208	208	206
208	208	208	206
209	208	208	206
210	208	208	213
211	213	213	213
212	213	213	213
213	213	213	213
214	213	213	213
215	213	213	213

Fuente: Elaboración propia

7.2.3. Modelo de localización de botes y minimización de distancias para el tercer nivel

A continuación se muestra una gráfica que representa una frontera de Pareto de las soluciones posibles del modelo de localización de botes y minimización de distancias recorridas para el tercer piso del edificio.

Ilustración 16. Frontera de Pareto para el modelo del tercer nivel

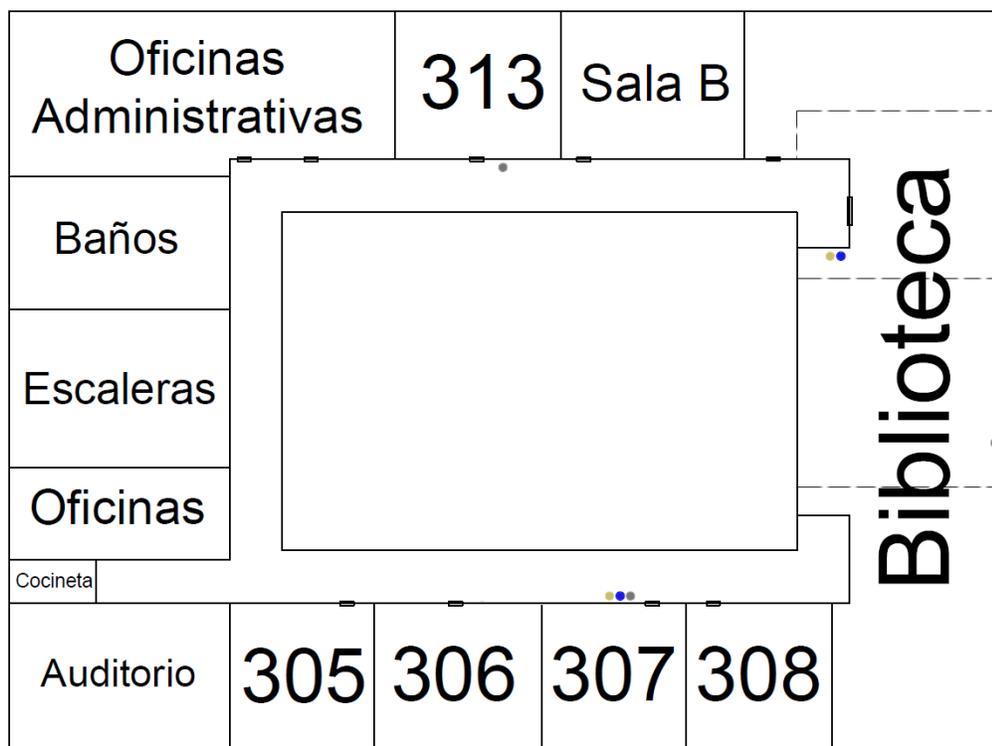


Fuente: Elaboración propia

Z_1	Z_2
7	373.8
8	329.2
9	298.4

Para el tercer nivel de las instalaciones de la UVSP dado que el área es mayor por la biblioteca el número de botes aumenta, ahora los botes factibles para suplir la demanda de generación de residuos es siete, ocho y nueve con las siguientes distancias asociadas respectivamente: 373.8 m, 329.2 m y 298.4 m.

Ilustración 17. Ubicación de la solución de siete botes para el modelo del tercer nivel



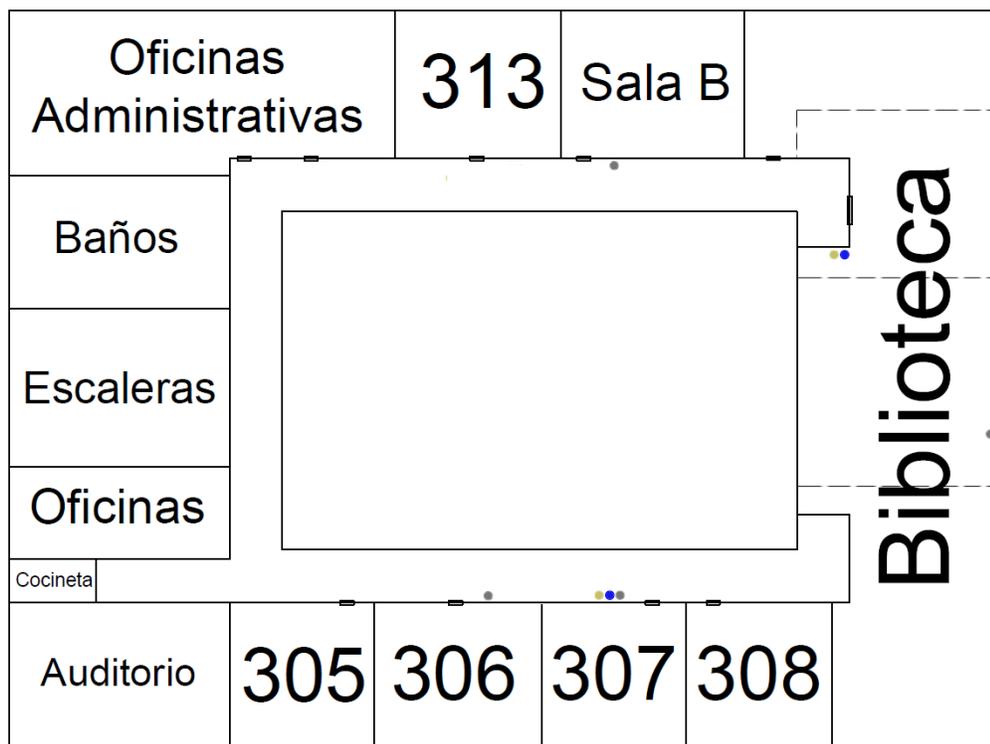
Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Destinos de disposición de residuos para el modelo del tercer nivel con siete botes

Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
305	307	307	307
306	307	307	307
307	307	307	307
308	307	307	307
313	B1	313	B1
SB	B1	313	B1
B1	B1	B2	B1
B2	B1	B2	B1
B3	B1	B2	B1

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 18. Ubicación de la solución de ocho botes para el modelo del tercer nivel



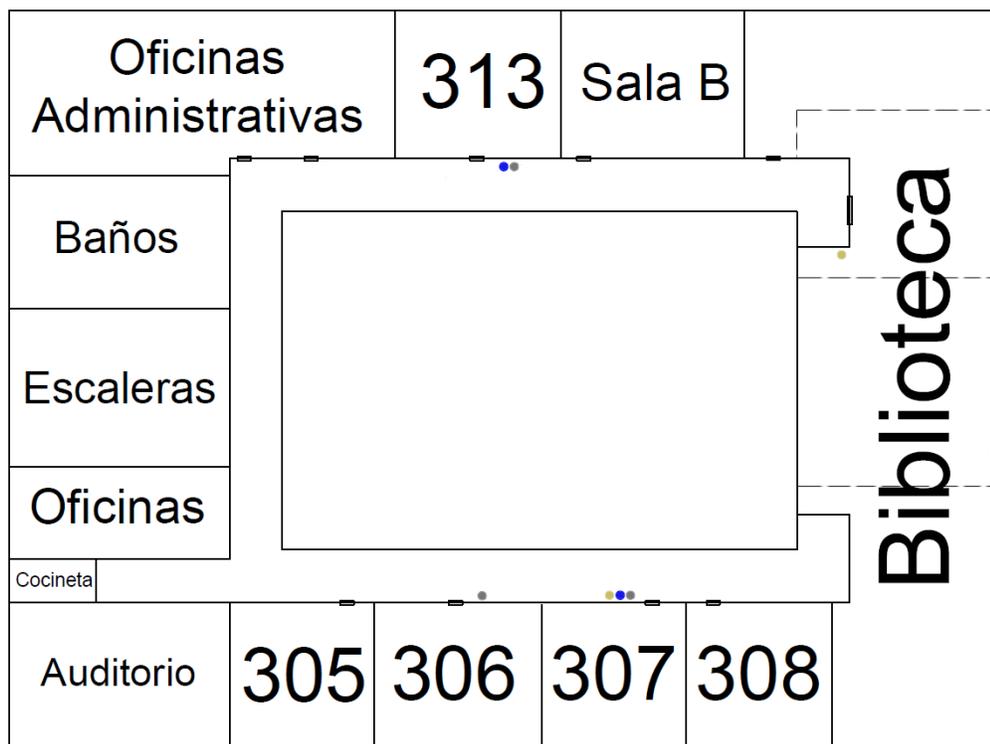
Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Destinos de disposición de residuos para el modelo del tercer nivel con ocho botes

Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
305	307	306	307
306	307	306	307
307	307	307	307
308	307	307	307
313	B1	SB	B1
SB	B1	SB	B1
B1	B1	B2	B1
B2	B1	B2	B1
B3	B1	B2	B1

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19. Ubicación de la solución de nueve botes para el modelo del tercer nivel



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Destinos de disposición de residuos para el modelo del tercer nivel con nueve botes

Origen	Destino		
	Plástico	Papel - Cartón	No reciclables - Orgánicos
305	307	306	307
306	307	306	307
307	307	307	307
308	307	307	307
313	SB	SB	B1
SB	SB	SB	B1
B1	B2	B2	B1
B2	B2	B2	B1
B3	B2	B2	B1

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados de la cantidad de botes de basura y la distancia total recorrida, se decide elegir en todos los niveles del bloque el número máximo de tarros para minimizar el riesgo de que una persona al no encontrar un bote cerca decida lanzar su residuo al piso o a un bote incorrecto.

7.2.4. Botes de disposición intermedia en áreas especiales

En esta sección se tienen todas las áreas en las cuales el número de botes y la clase de botes ya está definida.

7.2.4.1. Fotocopiadora

En esta área se debe tener un bote de basura para el propósito papel y cartón y de color gris con un volumen de 50 litros.

7.2.4.2. Oficinas

En cada oficina se debe tener un bote de basura para el propósito papel y cartón y de color gris con un volumen de 10 litros.

7.2.4.3. Cocineta

Aquí es necesario tener un bote para material orgánico de color habano de 50 litros y un bote para plástico de color azul de 35 litros.

7.2.4.4. Cafeterías

Se debe tener un bote para material orgánico al interior de cada cafetería de color habano y de 80 litros de volumen y también un bote para residuos no reciclable de color verde afuera de cada cafetería con un volumen de 50 litros.

7.3. UBICACIÓN CENTROS DE ACOPIO

La ubicación de los centros de acopio se realizó mediante una técnica multi-criterio llamada TOPSIS dando como resultado el parqueadero principal (P2) para los residuos aprovechables y el parqueadero de la entrada (P1) para los residuos no aprovechables según se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31. Ranking de las opciones del método *TOPSIS*

Ranking			
Residuos aprovechables		Residuos no aprovechables	
0.62396	P1	0.82287	P1
0.64790	P2	0.35688	P2
0.47003	P3	0.23220	P3
0.49265	P4	0.70434	P4

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 20. Ubicación de mejores opciones en el plano



Fuente: Adaptado de Universidad del Valle sede Palmira 2010.

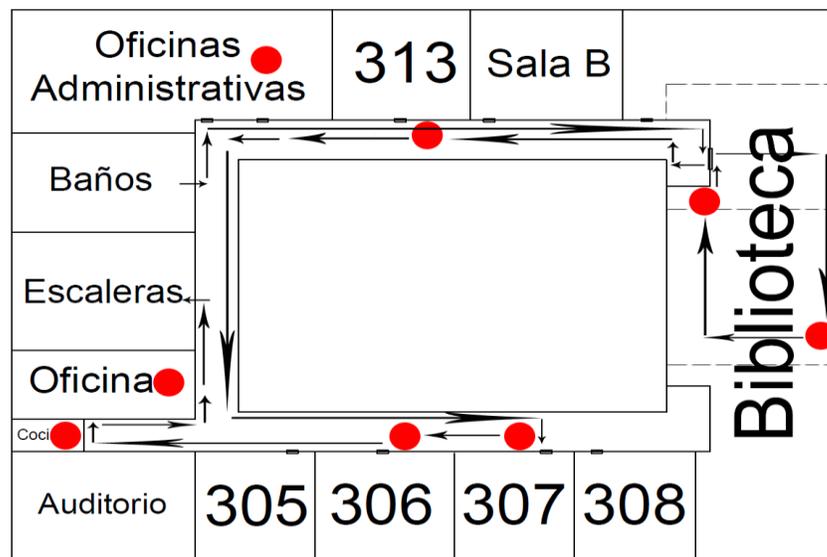
7.4. RUTA Y CONDICIONES DE TRANSPORTE DE LOS RS

A continuación se va a mostrar para cada nivel del edificio de la Universidad, como se efectuará el recorrido con las condiciones mencionadas en el capítulo anterior. La ruta se hace primero el piso tres, segundo el piso dos y tercero el piso uno, para llevar posteriormente los residuos a su centro de acopio respectivo.

7.4.1. Primer piso

La ruta comienza en el tercer nivel de la Universidad y se muestra en el siguiente gráfico, al igual que los puntos de recogida que se marcan con un círculo rojo.

Ilustración 21. Ruta para el tercer piso de la Universidad

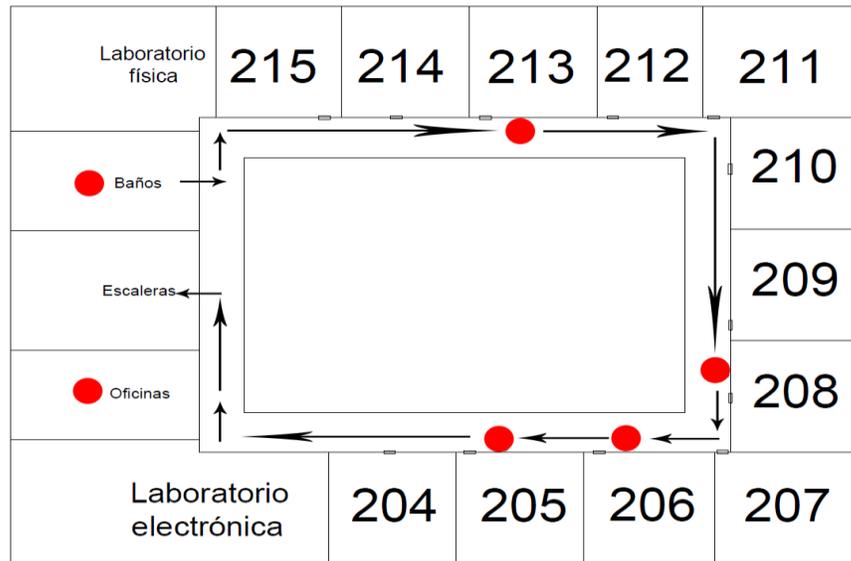


Fuente: Elaboración propia

7.4.2. Segundo piso

En este nivel del edificio la ruta se hace según se muestra en la ilustración, los puntos de recogida se marcan con un círculo de color rojo.

Ilustración 22. Ruta para el segundo piso de la Universidad

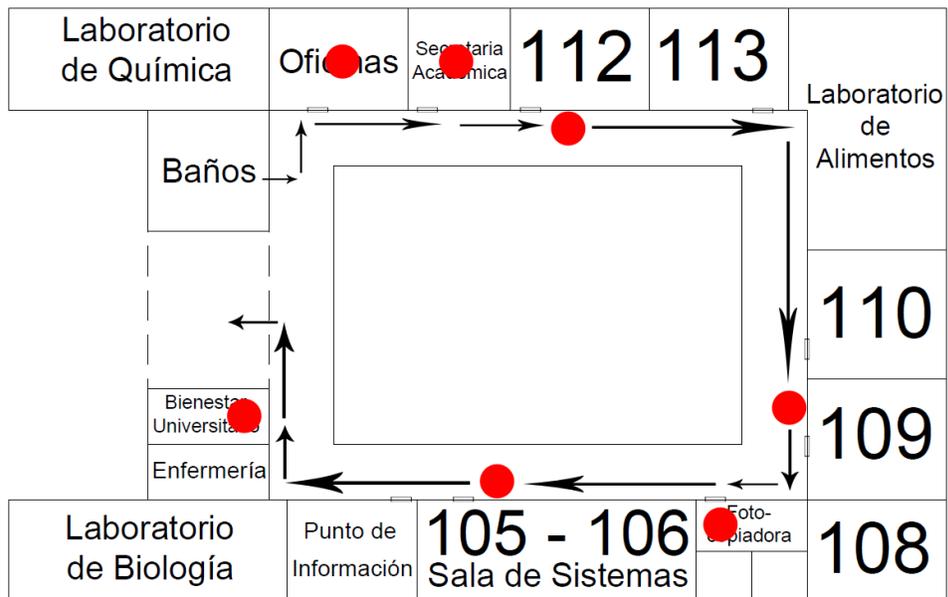


Fuente: Elaboración propia

7.4.3. Primer piso

La ruta finaliza en el primer piso como se muestra en el siguiente plano a escala.

Ilustración 23. Ruta para el tercer piso de la Universidad



Fuente: Elaboración propia

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar el mayor número de botes arrojado en la solución del modelo de cada piso de la UVSP, lo cual correspondería a ubicar en los pasillos de los pisos y en la biblioteca de la Universidad un total de 25 botes de basura, los cuales más específicamente son: nueve para el propósito de papel y cartón, nueve para el propósito de plástico, y siete para el propósito de residuos orgánicos y no reciclables. De igual modo debe ubicar un contenedor o centro de acopio para residuos aprovechables al fondo del parqueadero principal y otro para residuos no aprovechables en el parqueadero de la entrada.
- El modelo también propendía que todos los tipos de tarros se ubicaran en un mismo punto, pues si se ubican de forma dispersa a lo largo de los pasillos de la UVSP las personas, debido a su cultura y costumbres, van a tender a depositar los RS en el bote más cercano entorpeciendo el proceso de separación en la fuente. Lo anterior implica en trabajo significativo por cambiar y/o mejorar la cultura ambiental en la comunidad tanto universitaria como en general.
- Al momento de encontrar los diferentes puntos factibles en la solución del modelo de optimización bi-objetivo, se decide trabajar con el mayor número de botes de disposición intermedia debido a una variable externa llamada "Cultura" para de esta manera, disminuir el riesgo de que una persona bote su residuo en un tarro que no es el adecuado o que decida lanzar su residuo al piso.
- En la UVSP se generan alrededor de tres toneladas mensuales de RS, de las cuales cerca del 43% representan residuos aprovechables que pueden servir como materia prima para diferentes procesos productivos, y que al ser separados en la fuente y almacenados de manera correcta pueden ser comercializados. Al ser aprovechados dicho tipo de residuos se puede reducir

la inversión municipal en materia de tratamiento y disposición de RS, además de reducir el impacto social y ambiental que generan los residuos en general.

- La caracterización de los RS en la UVSP muestra valores demasiado variables para la generación de residuos, lo que hace difícil tomar un valor estándar respecto a dichos datos. Para condiciones de prevención en cambios en las cantidades generadas y cubrimiento de los puntos generadores, se consideró el mayor valor de los residuos generados en cada una de las áreas en las que se dividió las instalaciones del caso de estudio.

9. BIBLIOGRAFÍA

BRAVO, J. J. 2013. Optimización de decisiones empresariales: principios de jerarquización, descomposición y dualidad. Programa Editorial Universidad del Valle.

CASTRILLÓN, O.; PUERTA, S. M. 2004. Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista. Revista Lasallista de Investigación. 1 (1), 15-21.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 9 de 1979, de 24 de Enero.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 99 de 1993, de 22 de Diciembre.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 142 de 1994, de 11 de Julio.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos, 1998.

COELLO COELLO, C. A.; VAN VELDHUIZEN, D. A.; LAMONT, G. B. 2002. Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. Kluwer Academic Publishers. New York.

FERNÁNDEZ COLOMINA, A. 2005. La gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el desarrollo sostenible local. Revista Cubana de Química. 17 (3), 35-39.

GÓMEZ, R. A.; CORREA, A. A.; VÁSQUEZ, L. S. 2012. Logística inversa, un enfoque con responsabilidad social empresarial. Criterio Libre. 10 (16), 143-158.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Guía Técnica Colombia, GTC 24. Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente. 2009

LONDOÑO, L. M. 2007. Implementación del plan de manejo integral de residuos sólidos en COSERVICIOS S.A. Producción + Limpia. 2 (2), 38-46.

MANYOMA, P. C.; PARDO, M. A.; TORRES, P. 2013. Localización de depósitos internos para residuos sólidos hospitalarios utilizando técnicas multi-criterio. Ingeniería y Universidad. 17 (2), 443-461.

MARMOLEJO, L. F.; OVIEDO, E. R.; JAIMES, J. C.; TORRES, P. 2010. Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales. Agronomía Colombiana. 38 (2), 319-327.

MARMOLEJO, L. F.; TORRES, P.; OVIEDO, E. R. 2009. Flujo de residuos: elemento base para la sostenibilidad del aprovechamiento de residuos sólidos municipales. Ingeniería y Competitividad. 11 (2), 79-93.

MEDINA, M; CERDA, J. 2008. Modelo de localización óptima de actividades no deseadas aplicado a los residuos sólidos en la región metropolitana. Revista chilena de ingeniería. Vol. 16 (1), 211-219.

MELLINAS, M. J. 2012. Análisis Comparativo de Técnicas de Generación Eléctrica; AHP y TOPSIS Fuzzificado. Universidad Politécnica de Cartagena.

ORÓ QUIXAL, R. 2007. Estética en ingeniería civil. Elementos de composición y situación actual.

ROMÁN, P. 2009. ¿Qué pasa con tus Basuras? Manual para el Profesor. IX Certamen de Materiales Curriculares, Madrid.

SAATY, T. L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw Hill. New York.

ANEXOS

Anexo 1.

Para alimentar el modelo fue necesario el cálculo de todas las distancias desde los sitios generadores hasta todos los posibles sitios candidatos, estas distancias se muestran en las siguientes tablas y su unidad medida es metros:

Tabla 32. Tabla de distancias asociadas para el primer piso de la UVPS

		DISTANCIAS 1er PISO (m)				
		105	109	110	112	113
		1	2	3	4	5
105	1	8.01	27.04	40.26	37.83	38.16
108	2	24.02	12.37	18.02	30.74	40.4
109	3	25.45	6.1	11.5	26.33	34.34
110	4	35.22	8.6	7.05	18.47	29.98
112	5	36.88	23.7	17.27	6.97	15.13
113	6	35.41	36.94	29.29	15.53	7.81

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Tabla de distancias asociadas para el segundo piso de la UVPS

		DISTANCIAS 2do PISO (m)											
		204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
204	1	6.3	11.6	20.1	23.8	31.8	37.4	45.0	54.8	56.8	59.4	53.7	44.4
205	2	8.6	7.3	15.8	19.5	27.5	33.1	40.7	50.5	52.5	61.0	64.1	54.8
206	3	17.2	11.9	7.4	11.1	19.1	24.7	32.3	42.1	44.1	52.6	58.3	63.4
207	4	24.5	19.2	10.7	7.5	11.5	17.1	24.7	34.5	36.5	45.0	50.7	60.0
208	5	27.9	22.6	14.1	10.4	6.4	12.0	19.6	29.4	31.4	39.9	45.6	54.9
209	6	34.4	29.1	20.6	16.9	8.9	7.3	14.9	24.7	26.7	35.2	40.9	50.2
210	7	45.1	39.8	31.3	27.6	19.6	14.0	6.4	12.2	14.2	22.7	28.4	37.7
211	8	52.0	46.7	38.2	34.5	26.5	20.9	13.3	8.9	10.9	19.4	25.1	34.4
212	9	57.4	52.1	43.6	39.9	31.9	26.3	18.7	8.9	6.9	11.4	17.1	26.4
213	10	64.5	61.0	52.5	48.8	40.8	35.2	27.6	17.8	15.8	7.3	9.0	18.3
214	11	57.7	63.0	57.1	53.4	45.4	39.8	32.2	22.4	20.4	11.9	6.2	11.5
215	12	53.2	58.5	63.2	59.5	51.5	45.9	38.3	28.5	26.5	18.0	12.3	7.0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Tabla de distancias asociadas para el tercer piso de la UVPS

		DISTANCIAS 3er PISO (m)								
		305	306	307	308	313	SB	B1	B2	B3
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
305	1	6.6	11.4	22.6	29.4	48.9	58.2	71.8	85.6	91.7
306	2	12.0	6.2	13.3	20.2	54.4	63.6	77.2	90.7	97.1
307	3	24.0	18.1	7.0	9.9	66.3	75.5	89.1	102.6	109.0
308	4	26.6	20.8	9.7	6.8	69.0	78.2	91.8	105.6	111.7
313	5	48.5	54.4	65.5	72.4	6.2	11.4	25.0	38.8	44.9
SB	6	54.9	60.7	71.8	78.7	12.5	7.3	20.9	34.7	40.8
B1	7	66.0	71.8	82.9	89.6	23.7	14.4	3.8	11.2	21.5
B2	8	71.1	76.9	88.0	94.7	28.8	19.5	7.5	5.5	12.7
B3	9	79.5	85.3	96.5	103.1	37.2	27.9	16.3	7.3	5.1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.

Para encontrar algunos parámetros como el de la constante estética se hizo una encuesta, primero con una muestra piloto para calcular una desviación estándar y posteriormente con una muestra que se calculó usando los resultados de la muestra piloto, a continuación se muestran los resultados obtenidos en la encuesta.

Muestra piloto:

Tabla 35. Muestra piloto para la encuesta de estética

Número de botes	
4	3
4	4
5	4
5	4
5	5
4	4
4	4
4	

Fuente: Elaboración propia

Muestra calculada según la población:

Tabla 36. Resultado de las encuestas de estética

Número de botes																				
8	4	4	3	3	4	3	4	4	4	5	4	4	3	3	7	4	2	3	4	4
4	3	5	4	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	3
4	4	2	4	4	3	3	4	4	4	2	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3
5	4	3	4	4	4	5	4	4	4	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	3
5	4	4	5	4	4	4	2	5	4	3	3	4	4	2	4	4	5	3	2	2
5	4	5	2	5	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	5	3	4	4		
4	4	4	2	4	4	4	5	4	3	3	4	3	3	4	5	4	3	3		
4	4	5	2	3	3	2	4	4	3	2	4	5	3	2	4	2	4	2		
4	4	4	4	3	3	3	4	4	2	4	4	5	3	5	6	3	4	3		
3	3	5	3	4	4	3	3	2	2	5	5	5	5	4	4	4	3	4		
4	4	4	4	3	4	4	3	6	3	4	2	3	4	4	3	4	4	3		
4	3	3	4	4	3	4	5	3	2	2	3	4	4	4	4	3	4	3		
4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	5	4	4	3	4	2	3	3	2		
5	3	4	4	4	3	4	5	4	3	4	2	4	4	3	5	3	4	3		
4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3		

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la encuesta de una manera más condensada fueron los siguientes:

Tabla 37. Tabla de frecuencia de los resultados de las encuestas

Número de botes	Frecuencia
2	24
3	82
4	151
5	29
6	2
7	1
8	1
Total	290

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.

Para el cálculo de la matriz resultado de comparación de criterios y alternativas se tuvo en cuenta la siguiente información: Distancia desde la puerta del edificio hasta cada una de las alternativas (C1) y distancia hasta donde entra el carro de la basura hasta cada una de las alternativas (C4).

Tabla 38. Medición de criterios de distancia en el TOPSIS

		Escala del Plano		39.277	
		Criterio 1		Criterio 4	
		<i>Distancia Plano (cm)</i>	<i>Distancia Real (m)</i>	<i>Distancia Plano (cm)</i>	<i>Distancia Real (m)</i>
Parqueadero de la entrada	P1	457.094	179.5328	64.145	25.1942
Parqueadero Principal	P2	359.316	141.1285	439.611	172.6660
Detrás de las cafeterías	P3	267.245	104.9658	520.566	204.4627
Detrás del lago	P4	530.837	208.4968	143.814	56.4858

Fuente: Elaboración propia

Para las adecuaciones necesarias se hizo una matriz evaluando una serie de criterios en una escala de 1, 2 y 3. Siendo 1 bajo, 2 medio y 3 alto.

Tabla 39. Mediciones del criterio de adecuaciones necesarias para el TOPSIS

	Residuos Aprovechables				Residuos No Aprovechables			
	ADECUACIONES				ADECUACIONES			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Techo	2	2	1	1	3	3	1	1
Piso	2	2	1	2	2	2	1	2
Olor	1	1	1	1	2	1	1	1
Luz	1	2	1	1	2	3	1	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4.

CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

Con el propósito de seguir con una correcta y adecuada separación en la fuente de los **RS** en la **UVSP**, es necesario determinar los contenedores o recipientes a ubicar en las instalaciones de dicho lugar, además de sus características como color, tamaño y forma. Para la actividad anterior es necesaria una caracterización de los **RS** producidos en las instalaciones de la Universidad, por lo cual se realizó, en primera instancia, un muestreo de las cantidades por cada categoría de **RS** en las diferentes zonas identificadas en la Universidad. Dicha caracterización se hizo con el apoyo del programa de tecnología Agroambiental de la **UVSP**. A continuación se presentan las zonas en las que se dividió la Universidad para cuestiones del muestreo.

Tabla 40. Zonas en las que se divide la UVSP

ZONA INTERIOR		ZONA EXTERIOR
NIVEL 1 Primer Piso	ZONAS COMUNES	CAFETERÍA 1
	OFICINAS	
	FOTOCOPIADORA	
	BAÑOS	
NIVEL 2 Segundo Piso	ZONAS COMUNES	CAFETERÍA 2
	OFICINAS	
	BAÑOS	
NIVEL 3 Tercer Piso	ZONAS COMUNES	
	BIBLIOTECA	
	COCINETA	
	OFICINAS	
	BAÑOS	

Fuente: Elaboración propia

El muestreo se llevó a cabo con el apoyo de la coordinación de la carrera Tecnología Agroambiental, especialmente de las monitorias de esta carrera. Los datos del muestreo fueron tomados en 17 días entre el 2 de Abril de 2013 y el 29 de Mayo de 2013. Los resultados obtenidos se relacionan y asocian en las siguientes tablas.

Tabla 41. Caracterización de RS en kilogramos para el primer piso de la UVSP

Fecha		NIVEL 1 (kg)									
Día	Mes	BAÑOS	ZONAS COMUNES					OFICINAS		FOTOCOPIADORA	
		No reciclable	Plástico	No reciclable	Cartón	M.O	Papel	Papel	Cartón	Papel	Cartón
4	Abril	1.2	1.2	1.1	0.5	0.3	0.25	2.7	0	0.08	0
5	Abril	1.1	3.7	4.5	0	1	2.1	1	0	1.9	0
22	Abril	0.7	4.5	3.8	2.1	0	2.9	1.3	0	0.3	0
23	Abril	0.6	5.5	2.5	0.5	1.5	2.8	0	0	0.1	0.4
26	Abril	0.5	0.7	0.5	0	0.2	0	0	0	0	0
29	Abril	0.1	4.3	6.8	2.4	0.2	1.3	0.1	0.2	0.1	0
6	Mayo	1.2	1.3	1.4	0	1.3	0.3	0	0	0.3	0
9	Mayo	1.3	0.5	1.6	0.7	2.4	0.6	1.2	0	0.2	3.2
10	Mayo	0.7	0.8	3.4	0	1.1	1	1.4	0	0.1	2.3
20	Mayo	0.7	2.6	1.7	0	1.1	2.1	0.2	0	0	0
24	Mayo	1.3	1.2	2.4	0	2.3	0.7	0	1.5	0	0
27	Mayo	0.8	0.5	1.6	0	0.8	0	1.8	0.3	0	0
Producción Max [kg]		1.3	5.5	6.8	2.4	2.4	2.9	2.7	1.5	1.9	3.2
Producción Media [kg]		0.850	2.233	2.608	0.517	1.017	1.171	0.808	0.167	0.257	0.492
Desviación Estándar [kg]		0.3729	1.8037	1.7656	0.8505	0.7872	1.0580	0.8959	0.4313	0.5288	1.0783
Volumen Producción [l]		6.667	49.107	34.872	22.857	8.247	27.619	25.714	14.286	18.095	30.476

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Caracterización de RS en kilogramos para el segundo piso de la UVSP

Fecha		NIVEL 2 (kg)							
Día	Mes	ZONAS COMUNES					OFICINAS		BAÑOS
		Papel	Cartón	No reciclable	Plástico	M.O	Papel	Cartón	No reciclable
4	Abril	0.25	0	3.5	1.3	0	0.5	0	2.7
5	Abril	2.3	3.3	6.2	4.8	1.5	0	0	3
22	Abril	0.3	0	4.1	3.4	0	3.3	2.1	2.4
23	Abril	2.1	0	2.3	1.9	1.2	0	0	4
26	Abril	0	0	0.9	2.2	0.3	0.5	1.3	0.4
29	Abril	3.1	0	2.7	1.2	0	0	0	1.1
6	Mayo	0.5	0	2.5	2.1	3.5	0	2.3	3.5
9	Mayo	0	1.2	3.1	2.7	0.7	1.3	0	2.2
10	Mayo	0	0	1.7	2.3	0.9	1.1	0	3.4
20	Mayo	1.3	3.1	2.7	1.4	0	0	2.5	0.8
24	Mayo	0	0	1.8	2.3	1.1	0.5	1.5	1.2
27	Mayo	0.7	2.3	1.5	0.7	0	1.3	0	0.4
Producción Max [kg]		3.1	3.3	6.2	4.8	3.5	3.3	2.5	4.0
Producción Media [kg]		0.879	0.825	2.750	2.192	0.767	0.708	0.808	2.092
Desviación Estándar [kg]		1.0710	1.3164	1.4036	1.0983	1.0219	0.9634	1.0466	1.2724
Volumen Producción [l]		29.524	31.429	31.795	42.857	12.027	31.429	23.810	20.513

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Caracterización de RS en kilogramos para el tercer piso de la UVSP sin incluir la biblioteca

Fecha		NIVEL 3 (kg)										
Día	Mes	ZONAS COMUNES					COCINETA			OFICINAS		BAÑOS
		Papel	Plástico	Cartón	M.O	No reciclable	M.O	No reciclable	Plástico	Papel	Cartón	No reciclable
4	Abril	1.4	3.1	0.45	0.32	0.1	1.1	0.1	0.3	0.3	0	2.9
5	Abril	0.95	2.5	0.65	0	1.1	1.5	0	0.2	0	0	2.7
22	Abril	0	0	0	0	0.1	2.6	1.2	0	0.1	0	0
23	Abril	0	0.3	0	0	0.5	2.2	0.3	0	0	0	0.3
26	Abril	1.3	3.2	4.3	1.2	2.1	3.4	6.8	0	0.6	2.3	4
29	Abril	2.3	0.5	2.3	0.3	1.3	0.2	1.3	3.4	0.1	0	4.1
6	Mayo	0	2.5	0	1.5	2.3	2.3	1.2	0	0	3.6	1.2
9	Mayo	0.8	1.1	2.1	2.3	2.7	1.7	0.6	0.2	1.2	3.5	0.6
10	Mayo	0.7	1.7	0	0.7	2.2	2.3	1.2	0	0.6	0	1.7
20	Mayo	0.5	2.3	1.2	0.5	1.8	0.2	3.1	0.7	0.7	1	0.6
24	Mayo	1.3	0.3	2.1	1.8	2.8	3.2	1.2	0	0	2.1	3.5
27	Mayo	0	0.2	0	1.2	1.3	3.8	0.2	2.1	0	0	0.6
Producción Max [kg]		2.3	3.2	4.3	2.3	2.8	3.8	6.8	3.4	1.2	3.6	4.1
Producción Media [kg]		0.771	1.475	1.092	0.818	1.525	2.042	1.433	0.575	0.300	1.042	1.850
Desviación Estándar [kg]		0.7250	1.2099	1.3606	0.7720	0.9469	1.1611	1.8865	1.0729	0.3908	1.4425	1.5133
Volumen Producción [l]		21.905	28.571	40.952	7.904	14.359	13.058	34.872	30.357	11.429	34.286	21.026

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Caracterización de RS en kilogramos de la biblioteca de la UVSP

Fecha		NIVEL 3 (kg)			
Día	Mes	BIBLIOTECA			
		Cartón	Papel	No reciclable	Plástico
4	Abril	0	1.1	0.3	0
5	Abril	0	0.35	0	0
22	Abril	1	0	0.4	0.2
23	Abril	0	0	0.6	0
26	Abril	0	0	0.2	0.8
29	Abril	0	0.6	0	0.3
6	Mayo	0.1	0.9	1	1.1
9	Mayo	0	1.1	1.7	1.3
10	Mayo	0	0.1	1.2	2.1
20	Mayo	0	0	1.3	0
24	Mayo	0.3	0.7	0.4	0
27	Mayo	0	1.2	0.7	0
Producción Max [kg]		1	1.2	1.7	2.1
Producción Media [kg]		0.117	0.504	0.650	0.483
Desviación Estándar [kg]		0.2918	0.4864	0.5436	0.6926
Volumen Producción [l]		9.524	11.429	8.718	18.750

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Caracterización de RS en kilogramos en las cafeterías de la UVSP

FECHA		CAFETERÍA 1 (kg)			CAFETERÍA 2 (kg)		
Día	Mes	Orgánico	Plástico	No reciclable	Orgánico	Plástico	No reciclable
22	Mayo	13.8	1.6	1.7	13.7	2.2	2.6
24	Mayo	18.3	1.5	1.4	14.5	2.3	2.4
27	Mayo	13.2	1.3	1.3	12.9	2.0	2.1
28	Mayo	17.8	2.0	1.7	13.9	2.2	2.5
29	Mayo	13.5	1.5	1.6	15.1	1.9	2.3
Producción Max [kg]		18.3	2.0	1.7	15.1	2.3	2.6
Producción Media [kg]		15.320	1.580	1.540	14.020	2.120	2.380
Desviación Estándar [kg]		2.5074	0.2588	0.1817	0.8319	0.1643	0.1924
Volumen Producción [l]		62.887	17.857	8.718	51.890	20.536	13.333

Fuente: Elaboración propia